

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE



Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vytvoření prostorového modelu

Measurement of the St. Spirit Church in Liběchov and Spatial Model Creation

Diplomová práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Bc. Daniela Valešová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Valešová Jméno: Daniela Osobní číslo: 424005
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vytvoření prostorového modelu
Název diplomové práce anglicky: Measurement of the St. Spirit Church in Liběchov and Spatial Model Creation

Pokyny pro vypracování:

Zaměření kaple Sv. Ducha v Liběchově 3D skenovacím systémem.

Zpracování a registrace naměřených dat.

Vytvoření prostorového modelu kaple.

Seznam doporučené literatury:


Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.


Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20. 2. 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 20. 5. 2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20. 2. 2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vytvoření prostorového modelu* zpracovala samostatně za použití odborné literatury a s přispěním konzultací u vedoucího diplomové práce Ing. Tomáše Křemena, Ph.D.

V Praze dne:

.....
Bc. Daniela Valešová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Tomášovi Křemenovi, Ph.D. za užitečné rady a pomoc při zpracování diplomové práce. Dále děkuji Bc. Karolíně Dvořákové a Bc. Petře Klimánkové za pomoc při měření a následné tvorbě společné části našich prací. Další poděkování patří prof. Ing. Martinovi Štronerovi, Ph.D. za poskytnutí dat exteriéru objektu. Také děkuji společnosti GEOTRONICS Praha, s. r. o. za zapůjčení laserového skeneru FARO. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu při studiu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá souborem činností vedoucích ke tvorbě digitálního 3D modelu kostela sv. Ducha v Liběchově u Mělníka. Mezi tyto činnosti lze zařadit sběr dat, jejich následné zpracování a vizualizaci konečného výstupu. V tomto případě bylo ke sběru dat použito více metod – měření s totální stanicí a GNSS přijímačem, pozemní laserové skenování a letecká fotogrammetrie s využitím bezpilotního systému. Následné výpočty a transformace dílčích mračen bodů vedly k výslednému celkovému mračnu bodů objektu. To bylo následně využito pro tvorbu prostorového ploškového modelu památkového objektu. Výsledný 3D model bude obci Liběchov sloužit jako prezentace objektu pro veřejnost. Veškeré zpracování bylo provedeno v programech Leica Cyclone, Microstation a SketchUp.

Klíčová slova

Laserové skenování, mračno bodů, 3D model, památková péče, Leica Cyclone, Microstation

Abstract

This diploma thesis deals with a set of activities leading to the creation of a digital 3D model of the St. Spirit Church in Liběchov, Mělník. These activities include data acquisition, post-processing and visualization of the final output. In this case, several methods were used to collect data - measurement with total station and GNSS receiver, terrestrial laser scanning and aerial photogrammetry using an unmanned system. Subsequent calculations and transformation of partial cloud points led to the resulting total cloud point of the object. This was subsequently used to create a spatial model of a historical object. The resulting 3D model will be taken by Liběchov as a presentation of the object for the public. All processing was done in Leica Cyclone, Microstation and SketchUp.

Key words

Laser Scanning, Cloud Points, 3D model, Culture Heritage, Leica Cyclone, Microstation

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Kostel sv. Ducha v Liběchově	9
2.1 Historie kostela sv. Ducha.....	9
3. Laserové skenování.....	11
3.1 Dělení laserových skenerů	12
3.2 Měření a zpracování dat laserového skenování	12
4. Dokumentace památkových objektů.....	13
4.1 Metody tvorby měřické dokumentace.....	14
4.1.1 Metoda oměrná	14
4.1.2 Polární metoda	14
4.1.3 Fotogrammetrické metody	14
4.1.4 Laserové skenování.....	15
4.2 Výstupy měřické dokumentace	16
5. Přípravné měřické a výpočetní práce.....	16
5.1 Použité přístroje a pomůcky	17
5.2 Rekognoskace terénu	19
5.3 Polygonový pořad, vlíčovací body, GNSS měření	20
5.4 Data získaná dronem	21
5.5 Kontrolní oměrné	22
5.6 Výpočet polygonového pořadu a souřadnic vlíčovacích bodů	22
6. Měření a zpracování dat laserového skenování	24
6.1 Měření laserovým skenerem	24
6.2 Zpracování měření laserového skenování	27
6.2.1 Použitý software	27
6.2.2 Modelování identických bodů	27
6.2.3 Registrace jednotlivých bodových mračen	30

7.	Tvorba 3D modelu	34
7.1	Tvorba 3D modelu v programu Leica Cyclone.....	34
7.2	Tvorba 3D modelu v programu Microstation	36
7.3	Zpracování v programu SketchUp	39
7.4	Komplikace při tvorbě 3D modelu.....	42
8.	Závěr	44
9.	Seznam použitých zkratk	45
10.	Seznam použitých zdrojů.....	46
11.	Seznam obrázků.....	48
12.	Seznam tabulek.....	49
13.	Seznam příloh	50

1. Úvod

Tématem a cílem této diplomové práce je zaměření památkového objektu laserovým skenovacím systémem a následné zpracování měřených dat do podoby celkového prostorového modelu objektu.

Zájmovým objektem je kostel sv. Ducha v Liběchově, jehož výsledný 3D model bude, podle předpokladu, sloužit jako prezentace objektu pro veřejnost. Diplomová práce vznikala v součinnosti dalších dvou prací za účelem vytvoření měřické dokumentace objektu. Tato dokumentace bude podkladem pro rekonstrukci objektu, o kterou usiluje město Liběchov.

Měření a prvotní zpracování dat je společná část celkem třech diplomových prací (dále diplomová práce Bc. Karolíny Dvořákové a Bc. Petry Klimánkové).

Hlavní částí práce je popis samotného vytváření prostorového modelu od sběru dat až po finální výstup. Součástí je i stručný popis v současné době využívaných metod zaměření skutečného stavu památkových objektů, spolu s možnostmi zpracování a tvorby výstupů.

Zaměření objektu bude rozděleno do dvou částí – přípravné měřické práce a skenování pozemním laserovým skenerem. Při prvotním měření totální stanicí bude zaměřen polygonový pořad a vlíčovací body. Následné skenování objektu bude rozvrženo do přibližně 40 stanovisek, z nichž některá budou o známých souřadnicích. Jednotlivá mračna bodů budou spojena do jednoho celkového mračna bodů, které se následně díky stanoviskům o známých souřadnicích transformuje do S-JTSK a Bpv. Mračno bodů se doplní o mračno bodů získané ze snímků z letecké fotogrammetrie s využitím bezpilotního systému. Mračno bodů poté bude po ucelených částech vektorizováno a liniová kresba objektu se doplní o plochy. Pro výsledný prostorový model pak bude vytvořena vizualizace v podobě přiřazení textur jednotlivým plochám.

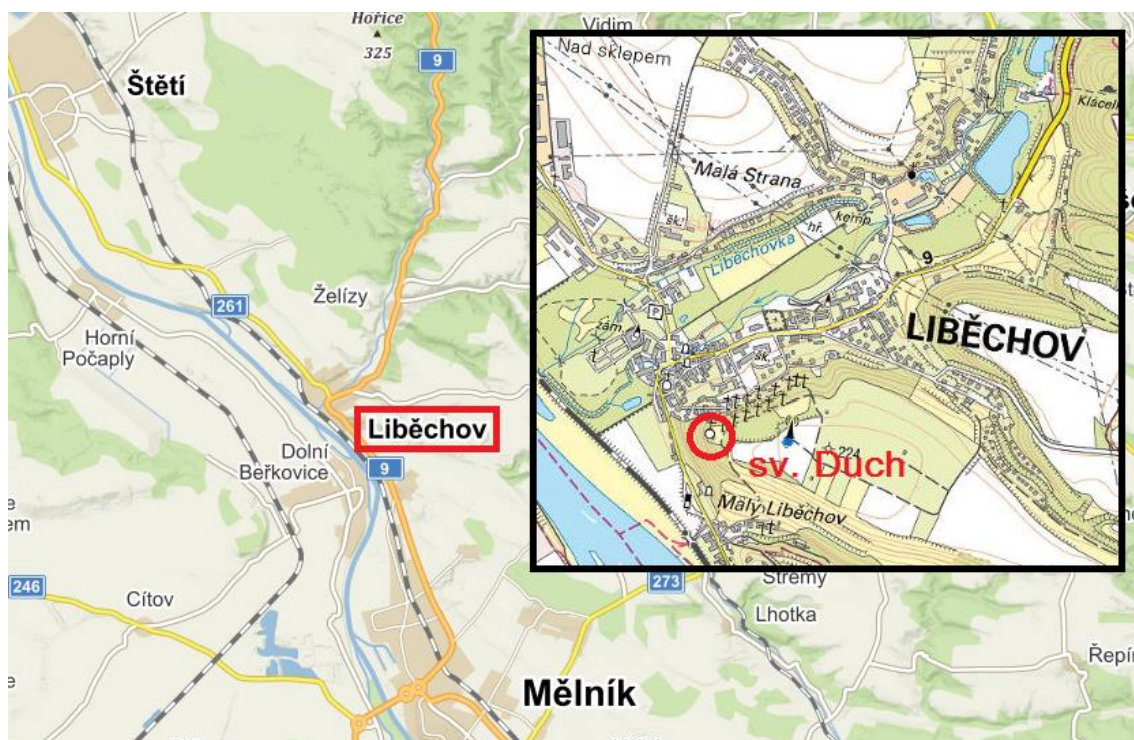
Výstupem práce je dokumentace skutečného stavu v podobě digitálního 3D modelu kostela spolu s vizualizací modelu.

Měření probíhalo 18. 11. 2017 a 1. 2. 2018

2. Kostel sv. Ducha v Liběchově

Kostel sv. Ducha je raně barokní sakrální stavbou dominující na bývalém viničním vrchu nad městem Liběchov (obrázek č. 1). Liběchov se nachází ve Středočeském kraji v okrese Mělník, na půl cesty mezi Mělníkem a Štětím. Město na pravém břehu řeky Labe má v současné době asi 1100 stálých obyvatel.

O získání kostela do vlastnictví obce, jeho obnovu a rekonstrukci, se snaží dobrovolný spolek liběchovských občanů od roku 2015. A to zejména z důvodu rozvoje kulturního a společenského života v Liběchově. Od konce 20. století, pro veřejnost uzavřený objekt, je v současné době využíván pouze příležitostně pro pořádání koncertů a přednášek.



Obr. 1: Poloha kostela sv. Ducha, [1], [2]

2.1 Historie kostela sv. Ducha

Kostel, dokončený v roce 1654, nechal na kopci nad obcí postavit tehdejší majitel Liběchovského panství Karel Hyacint, hrabě Villani de Castello Pillionico. Ten byl pak o dva roky později v hrobce kostela pohřben.

V druhé polovině 18. století byl zrekonstruovaný kostel doplněn křížovou cestou ze čtrnácti kapliček se souběžně vysazenou lipovou alejí.

Na začátku 19. století bylo panství prodáno svobodnému pánu Jakubu Veithovi, který v kostele rozšířil hrobku a přistavil věž, do které byly ze samostatné zvonice přeneseny zvony.

Po období chátrání je roku 1928 provedena kompletní oprava interiéru a exteriéru kostela, za kterou stojí tehdejší majitel František Homolka. Současně byla kaple znovu vysvěcena.

Po druhé sv. válce nastává další období chátrání, interiér a inventář kostela jsou devastovány.

V 60. letech 20. století připadá kostel do správy Národního muzea Praha a je Střediskem památkové péče a ochrany přírody zařazen na seznam chráněných památek.

Zatím poslední rekonstrukce proběhla na konci 60. let minulého století, kdy po úderu bleskem vyhořela věž kostela. Dosavadní valbová střecha byla protažena až k věži a byla opatřena novou krytinou. Současně byly stěny kaple zpevněny železobetonovou injektáží.

Od této rekonstrukce kostel znovu přestává být udržován. Hrobka byla vyklizena a ostatky rodiny Veithů byly uloženy na liběchovském hřbitově.

Po několika pokusech o vloupání a krádeži opukové dlažby byl kostel včetně hrobky definitivně vyklizen a následně uzavřen.

Kostel je tedy v současné době využíván jen velmi zřídka k menším kulturním akcím, jako jsou přednášky nebo koncerty. Kostel včetně kapliček z křížové cesty viz obrázky č. 2 – 6.



Obr. 2: Kostel sv. Ducha



Obr. 3: Kostel sv. Ducha



Obr. 4: Kostel sv. Ducha



Obr. 5: Kaplička z křížové cesty



Obr. 6: Část křížové cesty

V této kapitole bylo čerpáno z [3]

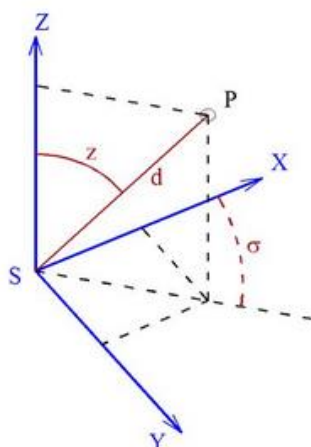
3. Laserové skenování

Laserové skenování jako metoda sběru dat se vyznačuje především rychlostí a automatizací měření. Od klasických geodetických metod se odlišuje bezkontaktním způsobem měření a neselektivním sběrem dat.

3.1 Dělení laserových skenerů

Nejzákladnějším dělením laserových skenerů je pravděpodobně členění na statické (terestrické), letecké a ruční laserové 3D skenery. Vzhledem k tématu diplomové práce se tato kapitola ve stručnosti bude věnovat statickým laserovým skenerům.

Terestrické skenovací systémy pracují na principu metody prostorového protínání vpřed ze základny a prostorové polární metody. Druhá a pro oblast geodézie, stavebnictví a architektury častější z variant využívá k určení prostorových souřadnic bodu, jak označení napovídá, prostorovou polární metodu. Je tedy nutné znát dva na sebe kolmé úhly a délku průvodiče (obrázek č. 7). U těchto skenerů může být délka k danému bodu určena dvěma způsoby. Prvním z nich je měření tranzitního času, druhým pak měření fázového rozdílu.



Obr. 7: Prostorová polární metoda, [4]

Polární skenery jsou v geodézi využívanějšími díky většímu dosahu měření. Základnové skenery oproti polárním takový dosah nemají, vyznačují se však větší přesností, čehož je využíváno především ve strojírenství.

Dále pak mohou být skenery děleny podle mnoha dalších kritérií. Některými z nich je například dělení terestrických skenerů podle dosahu, podle přesnosti, podle rychlosti skenování nebo podle zorného pole skeneru.

3.2 Měření a zpracování dat laserového skenování

Před samotným měřením je nutné při rekognoskaci terénu nebo objektu vhodně naplánovat rozmístění stanovisek, aby byl měřením pokryt celý objekt zájmu. S tím souvisí i zvolení metody pro spojení jednotlivých skenů. V případě, že skenování probíhalo z více stanovisek, je třeba jednotlivá mračna sloučit do jednoho celku. Mračna mohou být spojena přes identické body nebo přes překrytová území (využíváno

především u členitých objektů). Pokud na objektu není dostatečné množství přirozeně signalizovaných bodů, které by bylo možné využít jako identické, je nezbytné takovéto body na objektu umístit a zaměřit. Dalším krokem pak je nastavení vhodných parametrů skenovacího systému. Těmi jsou například rozsah zorného pole, hustota skenování, možnost barevného skenování či doplnění skenování snímky. Vlastní měření už pak probíhá prakticky automatizovaně.

Před samotným zpracováním je vhodné u naměřených dat provést jejich prvotní úpravu. Ve většině případů se tato úprava týká hlavně odstranění šumu nebo nadbytečných dat. Celkový model pak může být před dalším zpracováním ředěn nebo dále čištěn.

Z takto upravených mračen bodů pak lze vytvářet další výstupy. Těmi může být například výkresová dokumentace objektů, tvorba 3D modelů nebo digitální model povrchu nebo terénu. Výsledné modely pak často bývají doplněny ještě o vizualizaci. Tou může být úprava osvětlení modelu, přiřazení textur plochám modelu nebo vytváření animací modelu.

V této kapitole bylo čerpáno z [5].

4. Dokumentace památkových objektů

Měřická dokumentace historických objektů je v současné době nepostradatelná pro památkovou péči, rekonstrukce a přestavby objektů nebo pro vědecký výzkum památkových objektů a archeologických nalezišť.

Bohužel pro vytváření dokumentace stále chybí metodika možných postupů nebo směrnice pro zaměřování památkových objektů. Směrnice a metodiky jsou nyní již zastaralé (vzniklé v druhé polovině 20. století) a pro současný vývoj měřické techniky, požadavků na rozsah dokumentace a detailnost výstupu jsou nevhodné. Tvorba výstupu je tak často závislá na praxi vyhotovitele.

Měřická dokumentace je nezbytným podkladem pro práci památkových architektů, projektantů obnovy historických budov a objektů nebo například pro osoby provádějící stavebně-historický průzkum budov. Zhotovitelem dokumentace bývá v drtivé většině případů odborný pracovník – geodet nebo stavební inženýr. Vzhledem k složitosti a členitosti historických objektů je jen výhodou, pokud má zhotovitel znalosti překračující hranice svého oboru. Ať už to jsou znalosti dějin a historické architektury nebo třeba konstrukce staveb.

4.1 Metody tvorby měřické dokumentace

V současné době mají v tomto odvětví stále větší využití moderní měřické metody jako například laserové skenování nebo digitální fotogrammetrie. Stále však jsou využívány i klasické měřické náčrty. A to jako případné doplnění geodetických metod.

Jednotlivé metody jsou popsány samostatně. V běžné praxi se však nejčastěji využívá jejich kombinace.

4.1.1 Metoda oměrná

Oměrná metoda je v současné době asi nejjednodušší metodou. Z pomůcek a přístrojů je nutné pásma nebo laserový dálkoměr a pak vedení náčrtu.

Metoda spočívá v měření vzdáleností mezi charakteristickými body objektu. Měřické přímky jsou doplňovány křížovými mírami, kterými se předchází vzniku nepravidelností v půdoryse.

Tato jednoduchá metoda je vhodná především pro menší a pravidelné stavby. V kombinaci s dalšími metodami ji lze využít jako metodu doplňkovou, například pro doměření detailů.

4.1.2 Polární metoda

Tato metoda je založena na určování souřadnic charakteristických bodů prostorovou polární metodou.

Nevhodné pro tuto metodu mohou být objekty, kde je nutné měření velkého počtu bodů nebo objekty u kterých je požadována velká detailnost výstupu.

Stejně jako předchozí metoda je využívána v kombinaci s dalšími postupy, například jako prvotní měření před využitím fotogrammetrie nebo laserového skenování. Nejčastěji však polární metoda bývá využívána pro tvorbu bodových polí u nepravidelných objektů a pro zaměření hlavních rozměrů objektů.

Oproti tvorbě měřické dokumentace pomocí konstrukčních měř je tato metoda přesnější. V závislosti na pečlivosti měřiče se přesnost může pohybovat v řádech milimetrů, obvykle je přesnost přibližně do dvou centimetrů.

4.1.3 Fotogrammetrické metody

Při použití této metody dochází ke zpracování snímků pořízených nejčastěji digitální kamerou. Oproti geodetickým metodám je výrazně snížený čas strávený sběrem dat. Na druhou stranu zpracování je náročnější časově, i co se výpočetní techniky týče.

Pro účely měřické dokumentace historických budov je nejčastěji využívána pozemní fotogrammetrie nebo v současnosti stále více se rozmáhající letecká fotogrammetrie bezpilotních systémů.

Pro dokumentaci fasád nebo obecně rovinných objektů je vhodná jednosnímková fotogrammetrie, jejímž výstupem je fotoplán. Tato metoda je z fotogrammetrických metod asi nejméně náročnou vzhledem k přístrojovému vybavení.

Pro členitější objekty nebo například sochy je pak vhodná stereofotogrammetrie. Metoda využívající vyhodnocení dvojice snímků na základě stereoskopického vjemu. Tento postup vyhodnocení dat ale dělá stereofotogrammetrii náročnější, vybavení pro vyhodnocování takovýchto snímků je poměrně nákladnou záležitostí.

Pokud je požadovaným výstupem mračno bodů nebo 3D model, je z hlediska fotogrammetrie výhodné použít průřezovou metodu nebo metodu obrazové korelace. Při použití obou těchto metod lze z dvou a více snímků s protínajícími se osami záběru získat prostorové souřadnice bodů objektu. Takto získané souřadnice je pak možné dále zpracovávat v CAD programech do podoby 3D modelu.

Fotogrammetrické metody bývají nejčastěji spojovány s metodami geodetickými a to z důvodu nutnosti zaměření vlíčovacích bodů pro možnost spojení snímků.

4.1.4 Laserové skenování

Laserové skenování, jakožto neselektivní metoda pořizování dat, nabývá v současné době stále větší důležitosti. Pořád je to však metoda nákladná co se přístrojového, ale i počítačového vybavení týče.

Pozemní skenery, zaměřující hustou síť bodů na objektu, výrazně zkracují dobu potřebnou k měření. Po nastavení parametrů v přístroji už měření probíhá automatizovaně. Náročnější částí ale bývá zpracování výsledného mračna bodů.

Skenování většinou probíhá z více stanovisek, která je nutné spojit do jednoho celistvého mračna bodů. Spojení jednotlivých skenů může probíhat přes identické body nebo přes překrytová území.

Pro zaměření menších a více detailních objektů nebo jejich částí, je možné využít i ruční skenery. Naopak pro získání měřených dat ve špatně přístupných částech exteriéru památkových objektů je vhodné zkombinovat pozemní laserové skenování s bezpilotním systémem letecké fotogrammetrie.

4.2 Výstupy měřické dokumentace

Obecně řečeno obsah a rozsah výstupů měřické dokumentace vycházejí z účelu, pro který je dokumentace vytvářena. V každém případě však platí, že by dokumentace měla být přehledným a dostatečně podrobným zobrazením celého objektu, případně jeho dílčích částí.

Vzhledem ke zvolené metodě měření mohou být výstupy dvojího typu – klasické 2D výstupy nebo 3D výstupy, případně jejich kombinace.

Mezi 2D výkresovou dokumentaci ve většině případů můžeme zařadit půdorysy všech podlaží objektu, podélné a příčné svislé řezy, pohledy na všechny fasády objektu a případné detaily nebo dílčí půdorysy a řezy. Veškeré výkresy bývají vyhotovovány v měřítku 1:100, 1:50 nebo v případě detailů částí objektu v měřítku 1:20 až 1:1, případně ještě větších.

Co se 3D výstupů týče, výsledkem bývá prostorový model objektu nebo i samotné mračno bodů. 3D model často slouží pro potřeby prezentací objektu. Z toho důvodu lze model doplnit dalšími úpravami. Plochy vektorového modelu mohou být doplněny texturami materiálů, může být vytvořen průlet modelem nebo různé animace modelu.

Veškeré grafické výstupy jsou doplněny o základní údaje o dokumentovaném objektu a technickou zprávu popisující použité přístroje, metody měření a zpracování výstupů. Tyto dílčí části pak tvoří celkovou měřickou dokumentaci objektu.

V této kapitole bylo čerpáno z [6].

5. Přípravné měřické a výpočetní práce

Veškeré měřické práce byly rozděleny do dvou částí. Jako první bylo provedeno zaměření polygonového pořadu okolo kostela a zaměření vlíčovacích bodů na objektu. Druhou částí bylo samotné skenování uvnitř i vně kostela. Skenování pozemním laserovým skenerem bylo doplněno o mračno bodů získané ze snímkování pomocí dronu DJI Spark.

Naměřená data poté byla použita k výpočtu souřadnic uzavřeného polygonového pořadu a souřadnic vlíčovacích bodů a ke kontrole souřadnic zajišťovacích bodů trigonometrického bodu číslo 29 České státní trigonometrické sítě, který je středem makovice na věži kostela sv. Ducha.

5.1 Použité přístroje a pomůcky

Při první přípravné části měření byla využita totální stanice Leica, konkrétně model TS06 (obrázek č. 8) s možností bezhranolového měření délek. Technické parametry přístroje jsou uvedeny v tabulce č. 1.



Obr. 8: Totální stanice Leica TS06, [7]

Tab. 1: Techn. parametry totální stanice Leica TS06, [8]

Úhlová přesnost	0,6 mgon
Přesnost měření délek - hranol	1,5 mm + 2 ppm
Dosah měření délek - hranol	3500 m
Přesnost měření délek – bez hranolu	2 mm + 2 ppm
Přesnost měření délek – bez hranolu, vzdálenost nad 500 m	4 mm + 2 ppm

Dále pak byl pro kontrolu souřadnic použit GNSS přijímač Trimble GeoXR spolu s výtyčkou upevněnou ve stojanu s klipsnou pro pohodlnější měření (obrázek č. 9 a 10). Technické parametry přístroje pro RTK měření viz tabulka č. 2.



Obr. 9: GNSS přijímač Trimble GeoXR, [9] Obr. 10: GNSS přijímač Trimble GeoXR

Tab. 2: Techn. parametry GNSS přijímače Trimble GeoXR

Polohová přesnost	13 mm + 1 ppm
Výšková přesnost	20 mm + 1 ppm
Doba trvání inicializace	< 10 sekund
Spolehlivost inicializace	> 99,9 %

Pro samotné skenování pak byl použit stacionární laserový skener FARO Focus 3D X 330 zapůjčený společností GEOTRONICS s. r. o. (obrázek č. 11). Pro možnost transformace jednotlivých skenů byly využity referenční kulové terče dvojího průměru. Terče byly upevněny na stativěch nebo rozmístěny na podlaze kostela (obrázek č. 12). Vybrané technické parametry skeneru jsou uvedeny v tabulce č. 3.



Obr. 11: Laserový skener Faro Focus 3D X 330, [10]

Tab. 3: Techn. parametry skeneru Faro Focus 3D X 330

Dosah skenování	0,6 m – 330 m
Rozsah skenování	300°/360°
Trasovací chyba	± 2 mm
Třída laseru	Třída 1
Dvouosý kompenzátor	přesnost: 0,015° rozsah: ± 5°



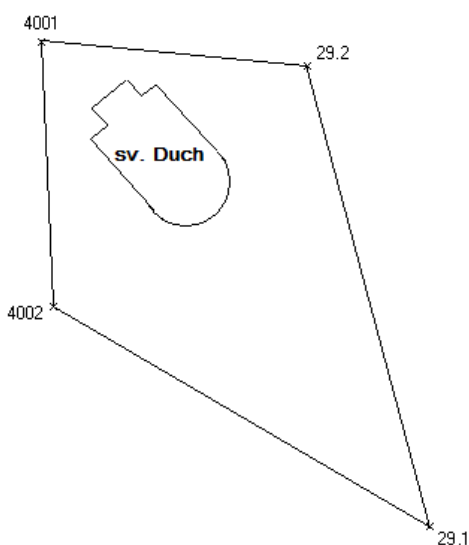
Obr. 12: Kulový terč

Dalšími pomůckami při první nebo druhé části měření pak byly minihranol Leica GMP111 Basic s minivýtyčkou, stativy Topcon, optický centrovač, laserový dálkoměr a pásno.

5.2 Rekognoskace terénu

Vzhledem k poloze kostela sv. Ducha je střed makovice na věži trigonometrickým bodem. Tento bod má v těsné blízkosti stabilizované tři zajišťovací body (29.1, 29.2 – kamenné mezníky a 29.3 – čepová nivelační značka ve zdi kostela). Této skutečnosti byla přizpůsobena volba a následné rozvržení stanovisek polygonového pořadu. Polygonový pořad byl navržen tak, aby zahrnoval zajišťovací body a současně aby bylo možné z určených bodů polygonu provést následné skenování exteriéru i interiéru kostela. Také

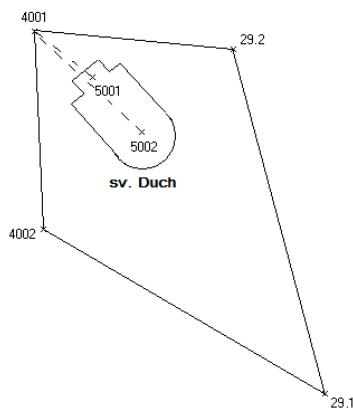
byla brána v potaz nutnost zaměřit vlíčovací body pro možnost vytvoření mračna bodů ze snímků pořízených dronem. Schéma polygonového pořadu je znázorněno na obrázku č. 13.



Obr. 13: Schéma polygonového pořadu

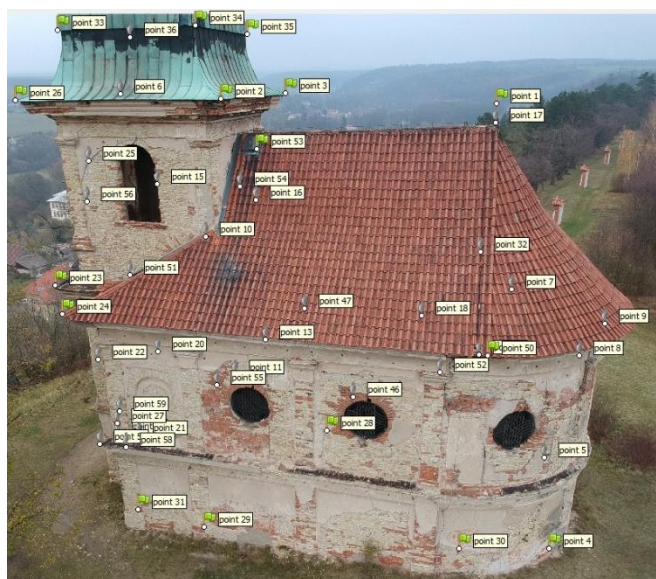
5.3 Polygonový pořad, vlíčovací body, GNSS měření

Jako nejvhodnější metoda určení souřadnic stanovišek pro skenování byl zvolen oboustranně orientovaný a připojený polygonový pořad. Pořad zahrnuje dva zajišťovací body, stabilizované žulovým kvádrem v zemi, o známých souřadnicích (29.1 a 29.2) a další dva body, které byly určeny výpočetně (4001 a 4002). Tyto body byly stabilizovány asi 30 cm dlouhým roxorem a signalizovány dřevěným kolíkem. Z bodu pořadu (4001), umístěného před vstupními dveřmi kostela, byly rajónem určeny souřadnice dalších dvou bodů uvnitř kostela (body 5001 a 5002). Schéma bodů viz obrázek č. 14.



Obr. 14: Schéma polygonového pořadu s body určenými rajónem

Polygonový pořad byl měřen v jedné skupině. Počáteční bod 29.2 byl orientován na bod 29.1 a koncový bod 29.1 byl orientován na bod 29.2. Souběžně byly měřeny i vřícovací body na fasádě nebo střeše kostela. Vřícovací body bylo potřeba souřadnicově určit pro možnost vytvoření mračna bodů ze snímků exteriéru získaných ze snímkování dronem nebo ze snímků klasické pozemní fotogrammetrie. Pro snadnou identifikaci vřícovacích bodů na objektu byly od prof. Ing. M. Štronera, Ph.D. k dispozici fotografie s vyznačenými body – viz obrázek č. 15. Z velkého množství předem označených bodů bylo nakonec možné zaměřit 29 vřícovacích bodů na celém objektu.



Obr. 15: Schéma rozmístění vřícovacích bodů

Souřadnice zajiřovacích bodů, získané z geodetických údajů bodů na webových stránkách ČÚZK – příloha č. 1, [11], byly kontrolovány se souřadnicemi určenými aritmetickým průměrem z dvojího RTK měření metodou GNSS v síti referenčních stanic CZEPOS. Opakované měření GNSS bylo provedeno v souladu s bodem 9.5 přílohy vyhlášky č. 31/1995 Sb. Po porovnání souřadnic bylo zjiřtěno, že u všech bodů je souřadnice Y posunuta přibližně o 5 cm jedním směrem. Pro kontrolu byla porovnána délka mezi body 29.1 a 29.2 vypočtená ze souřadnic z geodetických údajů a ze souřadnic získaných z GNSS měření. Rozdíl těchto délek nepřesáhl 5 mm. Proto byly souřadnice z geodetických údajů brány pro další výpočty jako závazné.

5.4 Data získaná dronem

Měření i zpracování bylo vyhotoveno prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D., který poskytl data pro potřebu této diplomové práce. Pro získání mračna bodů střechy kostela sv. Ducha byla využita možnost bezpilotní letecké fotogrammetrie pomocí dronu

DJI Spark. Mimo snímků pořízených z dronu, byly použity i snímky pořízené z pozemní fotogrammetrie (digitální kamera Olympus E-300). Tyto snímky byly doplňkem pro místa, která kvůli nepříznivým podmínkám nebyla nasnímána dronem (větve stromu dosahující těsně ke střeše kostela, rušený signál pro ovládání dronu).

Zpracování snímků do podoby mračna bodů bylo provedeno v programu Agisoft Photoscan.

Detailnější popis přístrojů použitých pro měření a následné zpracování je uvedeno v diplomové práci Bc. Petry Klimánkové – Zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově a vyhotovení části jeho výkresové dokumentace.

5.5 Kontrolní oměrné

Pro možnost kontroly správnosti výsledného mračna bodů byly v terénu měřeny kontrolní oměrné míry. Tyto oměrné byly měřeny dvojím způsobem. Prvním z nich bylo měření pomocí pásma nebo laserového dálkoměru (v interiéru kostela). Druhou variantou bylo zaměření bodů na charakteristických místech fasády objektu (např. počátek a konec hrany sloupu) polární metodou při měření totální stanicí a následný výpočet prostorové vzdálenosti ze souřadnic bodů.

Kontrola hodnot délek probíhala tak, že v mračnu bodů byl vždy označen počáteční a koncový bod a poté byla změřena prostorová vzdálenost. Tato hodnota pak byla porovnána s odpovídající hodnotou získanou přímo z měření.

Porovnáním kontrolních měř byla potvrzena správnost mračna bodů. Délky se od sebe nelišily o více jak 3 cm (pouze v jednom případě byl rozdíl 4 cm).

Podrobnější popis porovnání měř a zhodnocení kontroly je součástí diplomové práce Bc. Karolíny Dvořákové – Zaměření a zpracování vybrané výkresové dokumentace kostela sv. Ducha v Liběchově.

5.6 Výpočet polygonového pořadu a souřadnic vlíčovacích bodů

Veškeré prvotní výpočty byly provedeny v programu Groma. Nejprve bylo třeba zpracovat zápisník měření. Pro redukci délek ze zobrazení byla vypočtena funkcí *Křovák* hodnota měřítkového koeficientu (obrázek č. 16). Následně už byla redukce provedena automaticky načtením zápisníku do programu. Při zpracování zápisníku současně proběhlo i zpracování měření v obou polohách dalekohledu a zpracování obousměrného měření.

The 'Křovák' window displays the following data:

- Pravoúhlé souřadnice:** Y: 736008,20; X: 1008160,49; Z: 212,79
- Polární souřadnice:** Ro: 1248237,014 m; Epsilon: 36.13133648 °
- Kartografické souřadnice:** Šířka: 78.94723907 °; Délka: 36.87154361 °
- Měřítkový koeficient:**
 - ☒ Oprava z kartografického zkreslení: 0.999930864097
 - ☒ Oprava z nadmořské výšky: 0.999966652125
 - Výsledný měřítkový koeficient: 0.999897518528** (highlighted with a red box)
- Buttons: Nastavit, Výpočet

Obr. 16: Výpočet měřítkového koeficientu

Polygonový pořad byl počítán jako oboustranně orientovaný a připojený. Výpočet byl proveden pomocí funkce *Polygonový pořad* v programu Groma (obrázek č. 17), kdy jako známé byly zvoleny zajišťovací body číslo 29.1 a 29.2. V rámci pořadu byly vypočteny souřadnice bodů 4001 a 4002. Polygonový pořad byl vypočten s odchylkou v poloze 0,016 m a s výškovým uzávěrem -0,019 m.

The 'Polygonový pořad' window shows the following results:

Bod	Y	X	Z
4001	736035.590	1008158.070	212.104
4002	736034.354	1008185.310	211.822

Summary statistics on the right:

- Úhlový uzávěr: 0.0049
- Odchylka X/Y: 0.013/-0.009
- Polohová odchylka: 0.016
- Výškový uzávěr: -0.019

Typ pořadu: Větknutý, oboustranně orientovaný
 Vyrovnání: Klasicky ☒ Výškový výpočet

Buttons: Protokol, Nový pořad, Výpočet

Obr. 17: Výpočet polygonového pořadu

Výsledné souřadnice bodů polygonového pořadu jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. 4: Souřadnice bodů polygonového pořadu

Bod	Y [m]	X [m]	Z [m]	Poznámka
29.1	735995,61	1008207,97	213,15	z geodetických údajů
29.2	736008,20	1008160,49	212,79	z geodetických údajů
4001	736035,59	1008158,07	212,10	vypočtený
4002	736034,35	1008185,31	211,82	vypočtený

Ze známých souřadnic polygonového pořadu (stanoviska pro měření vřícovacích bodů) pak byly souřadnice vřícovacích bodů vypočteny automatizovaně pomocí funkce *Polární metoda dávkou*.

Protokoly o výpočtech z programu Groma, spolu se zápisníkem měření, jsou součástí příloh (zápisník měření – příloha č. 2, polygonový pořad – příloha č. 3; polární metoda dávkou – příloha č. 4, porovnání souřadnic – příloha č. 5).

6. Měření a zpracování dat laserového skenování

Měření laserovým skenerem FARO Focus 3D X 330 probíhalo 1. 2. 2018. Celkem bylo měřeno ze 42 stanovisek zahrnujících hrobku, interiér a exteriér kostela sv. Ducha. Zpracování dat poté bylo provedeno v programu Leica Cyclone.

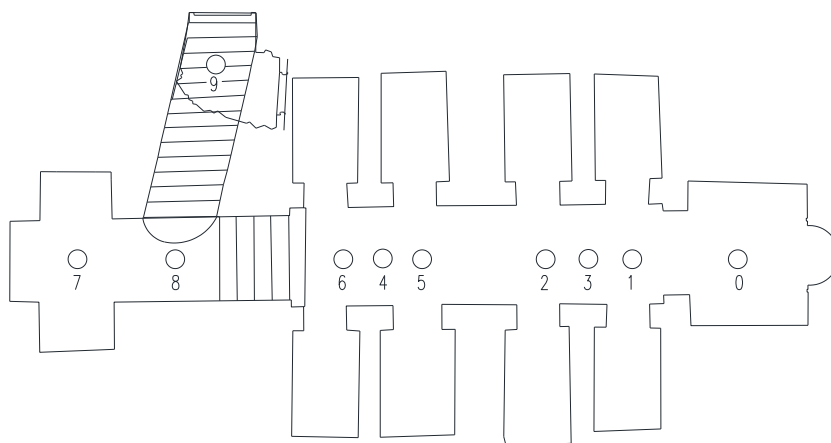
6.1 Měření laserovým skenerem

Při skenování bylo zvoleno dvojí nastavení přístroje. Nastavení bylo pro interiér a exteriér objektu v některých parametrech rozdílné a to hlavně z důvodu vzdálenosti skeneru od skenovaných ploch objektu. Stejně bylo nastavení zorného pole skenování, a to 0° - 360° stupňů v horizontálním směru a -60° - +90° stupňů ve vertikálním směru. Pro zkrácení doby skenování byla vypnuta možnost barevného skenování. I přes skutečnost, že je skener vybaven dvouosým kompenzátozem, byl přístroj na každém stanovisku horizontován. Vybrané parametry nastavení přístroje jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 5: Parametry skenování

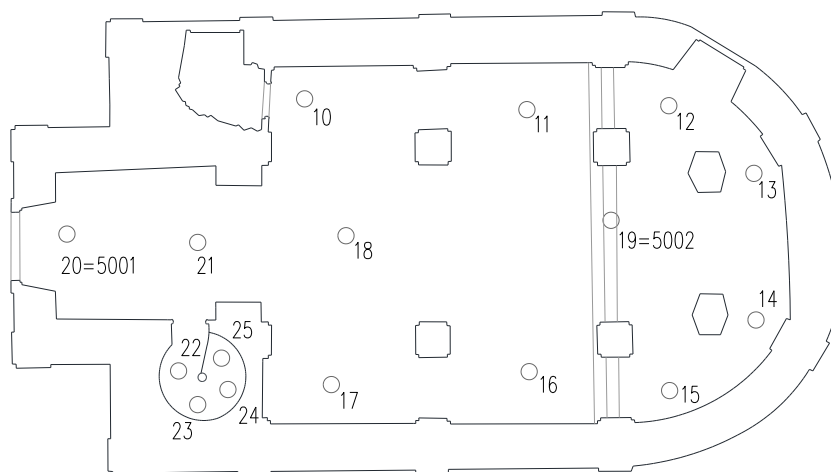
Parametr	Interiér	Exteriér
Skenovací profil	Indoor 10 m	Outdoor 20 m
Hustota	12 mm / 10 m	6 mm / 10 m
Kvalita	4x	4x
Doba skenování	2 min 47 s	8 min 9 s

Před samotným skenováním byly na podlaze krypty rozmístěny referenční kulové terče o průměru 145 mm. Tyto terče sloužily jako identické body pro transformaci jednotlivých skenů. Kulové terče byly doplněny ještě terči o průměru 200 mm. Tyto terče byly umístěny na stativěch a spolu s laserovým skenerem tvořily trojpodstavcovou soustavu jdoucí postupně celým objektem. Celá krypta byla skenována z deseti stanovisek. Schéma stanovisek je znázorněno na obrázku č. 18.

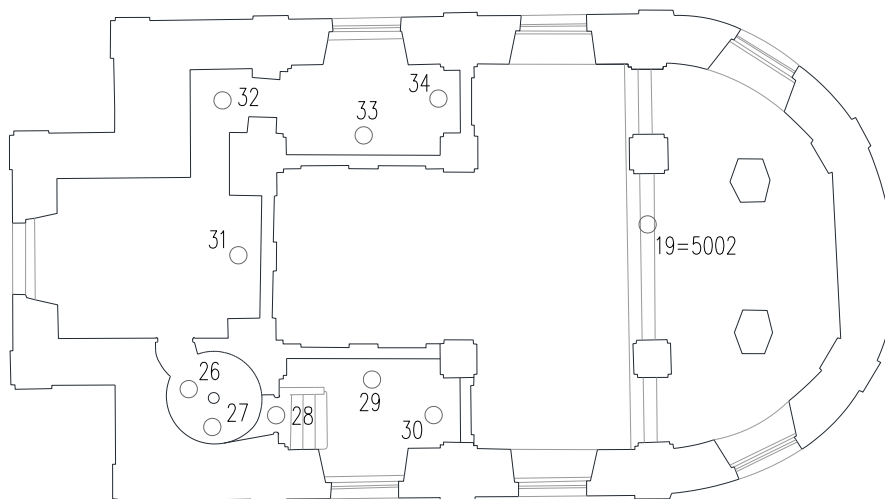


Obr. 18: Schéma stanovišek skenování v kryptě, tvorba Bc. P. Klimánková

V prvním nadzemním podlaží probíhal postup skenování obdobně. Menší kulové terče byly opět rozmístěny po objektu a větší terče byly upevněny na stativěch. Dva ze skenů byly provedeny ze známých souřadnicově určených bodů 5001 a 5002. Kulové terče byly z důvodu omezeného prostoru vynechány při skenování točitého schodiště vedoucího do druhého nadzemního podlaží. Současně toto schodiště nebylo naskenováno celé – do věže kostela nebyl umožněn přístup. Rozmístění stanovišek v obou nadzemních podlažích viz obrázky č. 19 a 20.

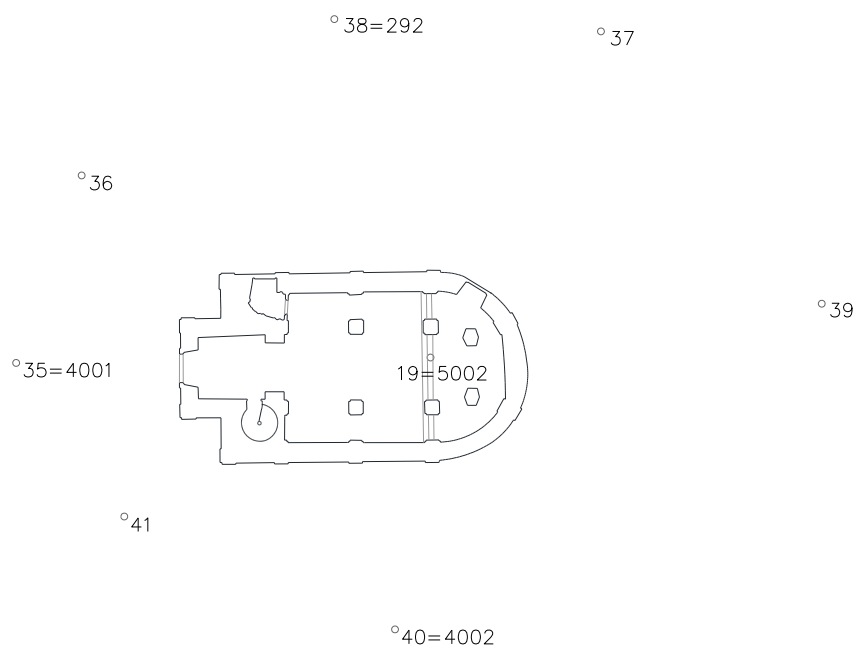


Obr. 19: Schéma stanovišek skenování v prvním nadzemním podlaží, tvorba Bc. K. Dvořáková



Obr. 20: Schéma stanovišek skenování v druhém nadzemním podlaží, tvorba Bc. K. Dvořáková

Při skenování exteriéru objektu už byly využívány jen větší kulové terče v rámci trojpodstavcové soustavy. Pro naměření celého objektu bylo třeba 7 stanovišek, z čehož tři byly o známých souřadnicích – body 4001, 4002 a zajišťovací bod 29.2. Ze stanoviška 4001 byl otevřenými dveřmi skenován i interiér, hlavně kulový terč umístěný na bodě 5002. Takto bylo učiněno, aby mohlo být mračno bodů exteriéru spojeno s mračnem bodů interiéru objektu. Schéma stanovišek je znázorněno na obrázku č. 21.



Obr. 21: Schéma stanovišek skenování v exteriéru kostela, tvorba Bc. K. Dvořáková

6.2 Zpracování měření laserového skenování

Zpracování jednotlivých skenů předcházela prvotní úprava dat exportovaných z laserového skeneru. Jelikož program Leica Cyclone, použitý pro zpracování, nepracuje s výstupním formátem skeneru FARO .fls, byla nutná prvotní úprava dat. Tuto úpravu provedla Ing. Lucie Holíková ze společnosti GEOTRONICS Praha, s. r. o., které tímto děkujeme za pomoc. Naměřená data byla zředěna na hustotu 5 mm a převedena do formátu .asc ve tvaru: souřadnice X, souřadnice Y, souřadnice Z, intenzita, normála X, normála Y, normála Z.

6.2.1 Použitý software

Jak už bylo několikrát zmíněno, zpracování dat naměřených laserovým skenerem probíhalo v programu Leica Cyclone společnosti Leica Geosystems. Pro možnost prohlížení dat je k dispozici bezplatná verze Cyclone-VIEWER.

Program pracuje na základě databázové struktury, která urychluje práci s velkým objemem dat. Leica Cyclone nabízí k základnímu modulu Cyclone-BASIC další doplňující moduly pro rozšíření práce s mračenem bodů (například modul pro registraci mračen Cyclone-REGISTER, pro modelování objektů Cyclone-MODEL a další).

Jednotlivé skeny jsou v rámci projektu v založené databázi ukládány ve složce ScanWorld. Tato složka se dále dělí na ControlSpace a ModelSpace. ModelSpace je souhrnem geometrie prvků a informací o jejich uspořádání. Pro zobrazení objektů je nutné vytvořit ModelSpace View (obdoba pohledu v CAD programech). Další práce s mračenem bodů, jejich členění na menší části, vkládání a modelování objektů nebo členění do vrstev je možné v kopiích ModelSpace. Veškeré objekty vytvořené v kopii je pak nutné přesunout do originálního ModelSpace. V programu lze definovat velké množství klávesových zkratk, což značně urychluje a zjednodušuje práci s daty zobrazovanými v programu.

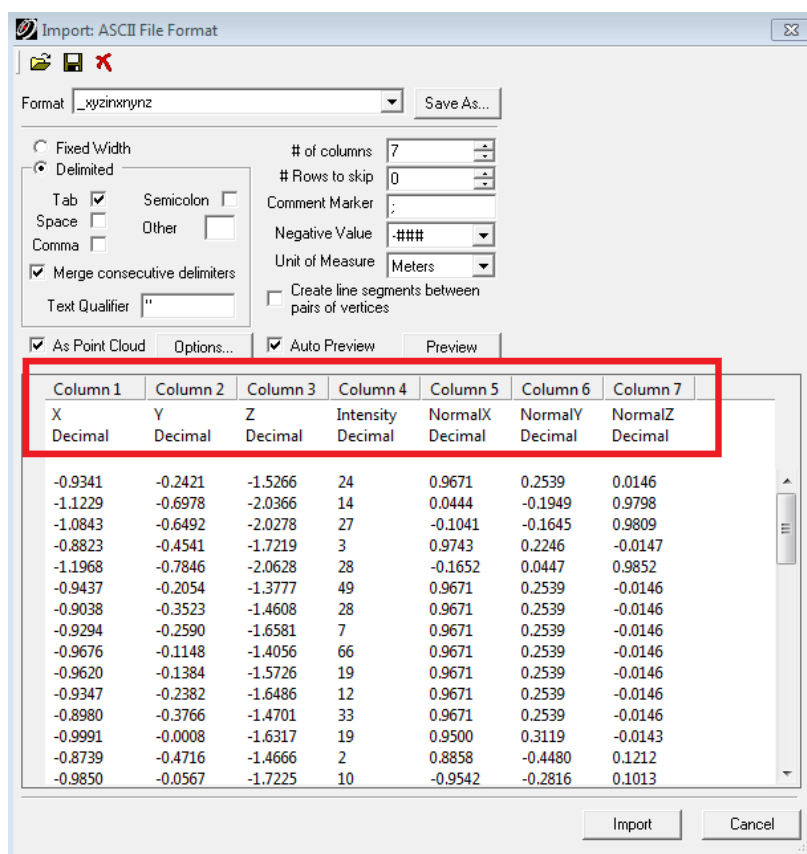
Alternativou tohoto programu může být využití softwarů ReCap společnosti Autodesk, Trimble RealWorks, Geomagic Studio nebo například Bentley Pointools V8i.

V této kapitole bylo čerpáno z [12] a z podkladů vytvořených pro cvičení předmětu Laserové skenování (154LSK) vyučovaného na FSv ČVUT.

6.2.2 Modelování identických bodů

Prvotním krokem bylo přejmenování koncovky dat z .asc na .txt. Takto upravená data lze importovat do programu Leica Cyclone.

Aby bylo možné naměřená data zobrazit, bylo nutné v programu založit databázi a vytvořit projekt. Do projektu pak byly jednotlivé skeny importovány podle šablony nastavené při otevírání prvního skenu. Šablona byla nastavena tak, aby se data nahrávala pro každý bod v pořadí sloupců: souřadnice X, souřadnice Y, souřadnice Z, intenzita, normála X, normála Y, normála Z – viz obrázek č. 22.



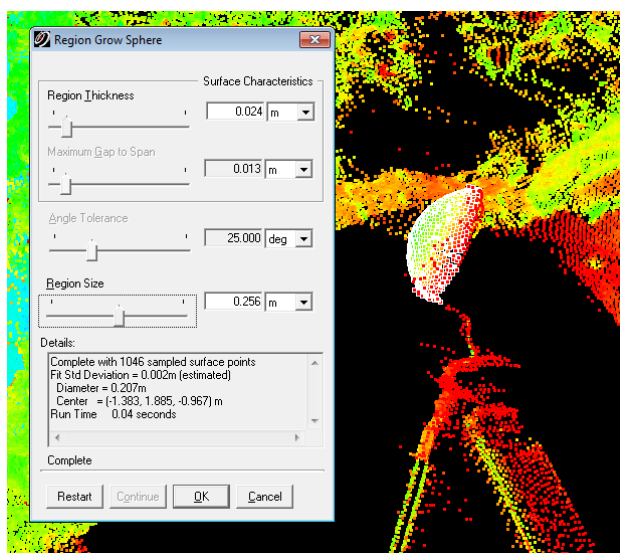
Obr. 22: Šablona pro import dat

Pro každý nahraný sken byl vytvořen *ModelSpace* – prostor, ve kterém se v mračně bodů modelovaly identické body. V *Object Preferences* byl nastaven průměr modelované koule (145 mm pro menší kouli a 200 mm pro kouli větší). Po vybrání mračna, ve kterém bylo třeba referenční kouli vymodelovat, byla spuštěna funkce *Region Grow* a vybrán příslušný tvar identického bodu (v tomto případě *Sphere* - koule). Při spuštění funkce se zobrazil dialog, ve kterém bylo možné upravovat parametry pro modelování koule. Současně dialog ukazoval celkový počet bodů, ze kterých bude koule vymodelována. Například upravením *Region Size* bylo možné regulovat velikost regionu pro výsledný tvar (při editaci tohoto parametru bylo vidět přibývajících nebo ubývajících počet bodů pro modelování). Vymodelovanému identickému bodu poté byla funkcí *Add/Edit Registration Label* přiřazena identifikace – jedinečné číslo rozlišující od sebe jednotlivé

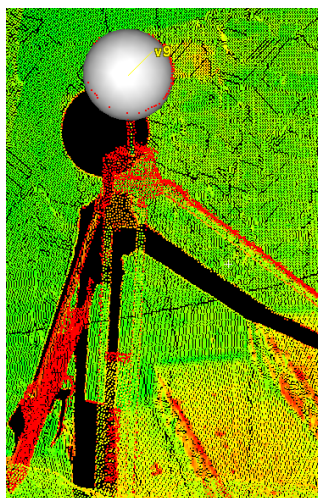
referenční terče. Tento postup byl proveden pro každou kouli v každém skenu. Postup modelování je znázorněn na obrázcích č. 23 – 25.



Obr. 23: Naskenovaný kulový terč



Obr. 24: Funkce Region Grow

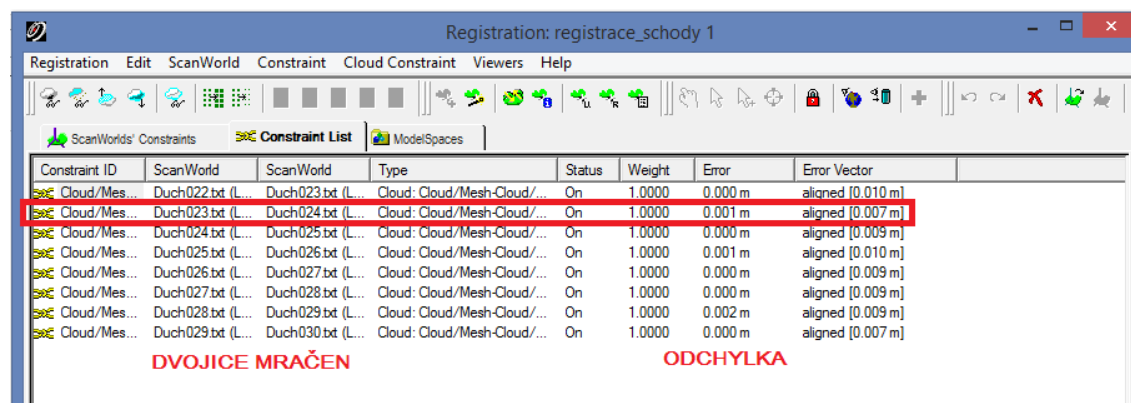


Obr. 25: Vymodelovaný kulový terč

6.2.3 Registrace jednotlivých bodových mračen

Registrace mračen bodů probíhala po částech, a to z důvodu, že ne všechna mračna bylo možné spojit přes identické body. Jako další možnost registrace byla zvolena registrace přes překrytová území jednotlivých mračen.

První částí byla registrace mračen točitého schodiště a na ně navazujícího balkonu. Vzhledem k omezenému prostoru na schodišti byla už při měření zavržena možnost registrace přes identické body a byla zvolena možnost využití překrytových území. Po spuštění dialogu registrace byla nahrána vybraná stanoviska skenování. V každé dvojici propojovaných skenů (celkem osm dvojic pro první část registrace) byly zvoleny alespoň tři body, které bylo možné jednoznačně identifikovat v obou mračnec. Po nadefinování bodů se pro každou dvojici vytvořil v záložce *Constraint List* (vazby mezi mračny) *Cloud/Mesh* s hodnotou absolutní chyby vzniklé při registraci. Náhled vazeb je na obrázku č. 26. Protokol registrace – příloha č. 6.



Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Cloud/Mes...	Duch022.bt (L...	Duch023.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]
Cloud/Mes...	Duch023.bt (L...	Duch024.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.007 m]
Cloud/Mes...	Duch024.bt (L...	Duch025.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Duch025.bt (L...	Duch026.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.010 m]
Cloud/Mes...	Duch026.bt (L...	Duch027.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Duch027.bt (L...	Duch028.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Duch028.bt (L...	Duch029.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.002 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Duch029.bt (L...	Duch030.bt (L...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]

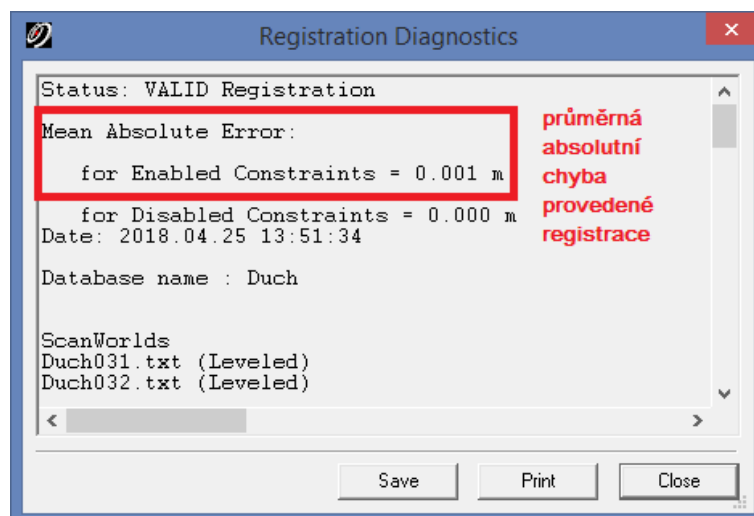
DVOJICE MRAČEN

ODCHYLKA

Obr. 26: *Constraint List*

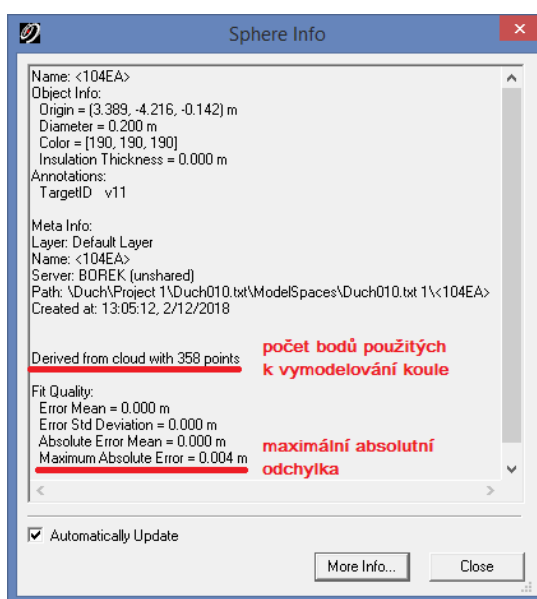
Další částí byla registrace mračen v druhém nadzemním podlaží. Tato registrace probíhala jako kombinace variant s identickými body a překrytovým územím. Důvodem pro toto bylo nedostatečné množství referenčních koulí nebo jejich úplná absence v jednotlivých skenech. Začátek registrace přes identické body je stejný jako u překrytových území. Do dialogu registrace se nahrají příslušná stanoviska, následně se zvolí domácí mračno - *Home ScanWorld* (automaticky program volí první mračno v seznamu). V záložce *Constraint List* se zvolí automatická volba tvorby vazeb *Auto-Add Constraints*. Této automatizace lze využít, pokud jsou k registraci použity řádně očíslované identické body. Po průběhu registrace se pro každou dvojici skenů zobrazila hodnota absolutní chyby. V generovaném protokolu registrace byla, mimo jiné, zobrazena i hodnota průměrné absolutní chyby. Ve všech částech registrace byla snaha

nepřekročit pro průměrnou absolutní chybu hodnotu 5 mm. Ukázka protokolu viz obrázek č. 27, celý protokol – příloha č. 7.



Obr. 27: Část protokolu z registrace

Následným krokem bylo spojení skenů celého interiéru. Pro tuto registraci byly použity skeny z krypty a prvního nadzemního podlaží kostela spolu s dílčími registracemi točitých schodů a balkonů. Při využití metody spojení mračen přes vymodelované referenční kulové terče bylo zjištěno, že na dvou stanoviskách byly koule chybně vymodelovány. Koule měly posunutý střed, velkou odchylku a pravděpodobně byly modelovány ze špatných bodů. Problém byl vyřešen tak, že dané skeny byly opětovně načteny do projektu a koule byly znovu vymodelovány (parametry správně vymodelované koule viz obrázek č. 28). Následná registrace už pak proběhla v pořádku – protokol viz příloha č. 8.



Obr. 28: Parametry modelovaného kulového terče

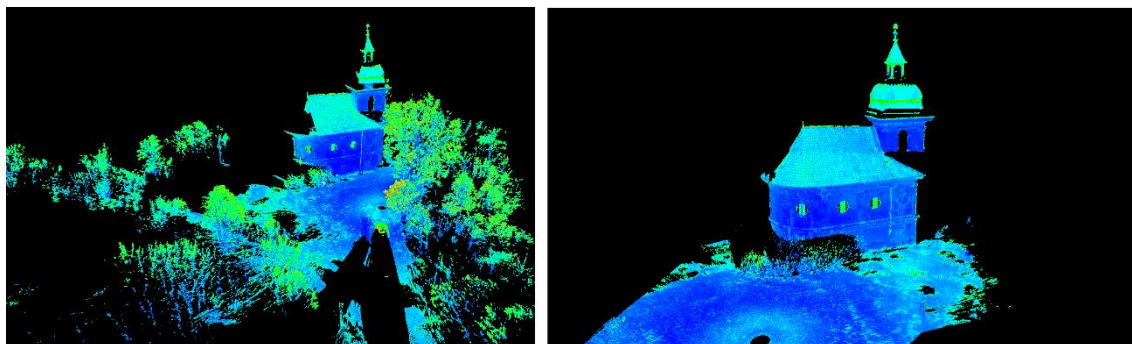
Kontrola registrace mračen byla kromě kontroly hodnoty průměrné absolutní chyby prováděna ještě vizuálně. A to vytvořením horizontálního a vertikálního řezu spojenými mračny. V řezech bylo zjišťováno hlavně to, zda nejsou tvořeny dvojité stěny, tedy jestli si body příslušných zdí odpovídají ve všech spojených mračnech, ve kterých byly skenovány. Ukázka řezu je znázorněna na obrázku č. 29.



Obr. 29: Vizuální kontrola registrace

Měření bodů laserovým skenerem probíhalo v místní souřadnicové soustavě přístroje. Aby bylo možné transformovat výsledné mračno bodů do S-JTSK a Bpv, byly některé skeny prováděny z centrických stanovisek o známých souřadnicích (uvnitř kostela body 5001 a 5002, vně kostela body 4001, 4002, 29.1 a 29.2). Před závěrečnou registrací, při které byla spojena mračna z interiéru a exteriéru objektu, byl do programu Leica Cyclone načten seznam souřadnic známých bodů. Čísla bodů v seznamu byla ztotožněna s čísly, která byla stanoviskům přiřazena při modelování referenčních kulových terčů. Současně byla u každého bodu k souřadnici Z připočtena výška přístroje při skenování.

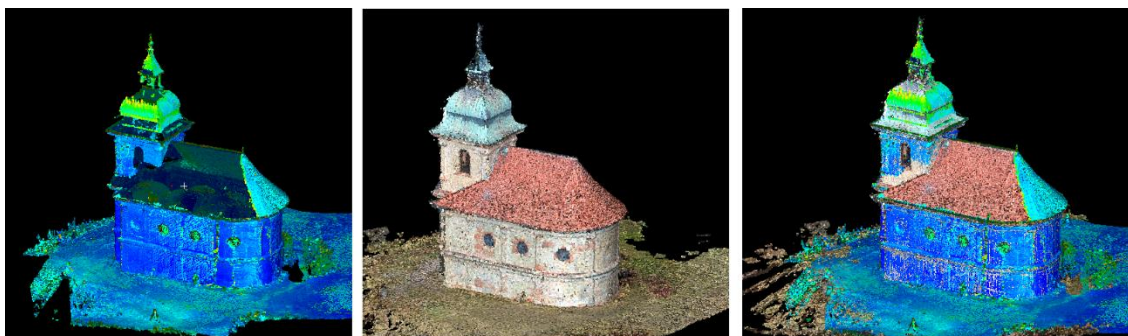
Finální registrace mračen proběhla jako spojení již hotové registrace z vnitřku objektu a jednotlivých venkovních mračen. Ta byla před samotnou registrací očištěna, protože vzhledem ke zvolenému rozsahu skenování obsahovala velké množství nadbytečných bodů z okolí kostela (rozdíl mezi očištěným a neočištěným mračnem viz obrázek č. 30). Protokol registrace – příloha č. 9.



Obr. 30: Mračno bodů exteriéru před a po očištění

Registrace opět probíhala přes identické body – referenční kulové terče o průměru 200 mm umístěné na stativěch. Výsledkem této celkové registrace pak bylo kompletní

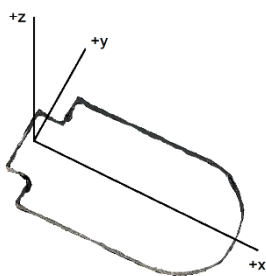
mračno bodů zahrnující celý interiér (krypta a obě nadzemní podlaží) a exteriér kostela sv. Ducha. Souřadnice některých stanovisek v S-JTSK pak sloužily pro transformaci výsledného mračna právě do tohoto souřadnicového systému. Transformace mračna do S-JTSK byla prováděna z toho důvodu, aby výsledné mračno z pozemního laserového skenování mohlo být spojeno s mračnem bodů získaným z dronu. Toto mračno doplňovalo „slepá“ místa v mračnu ze skenování skenerem FARO Focus 3D X 330. Mračno ze skeneru před a po spojení s mračnem z dronu viz obrázek č. 31.



Obr. 31: Mračno bodů z pozemního laserového skenování, z dronu a po spojení

Výsledné mračno bodů má přes 161 milionů bodů, z toho asi 16 milionů bodů má mračno z dronu, přibližně 92,5 milionů bodů má mračno interiéru a necelých 54 milionů bodů má exteriér kostela. Dohromady bylo skenováno ze 42 stanovisek, pro obsáhnutí celého interiéru jich bylo třeba 35 a pro exteriér 7.

Pro usnadnění dalšího zpracování byla ve finálním mračnu vytvořena místní souřadnicová soustava. Počátek této soustavy byl zvolen ve vchodu do kostela, kladná poloosa X pak směřovala do bodu na schodišti před oltářem kostela. Poloosa +Y byla zvolena kolmo k ose +X a poloosa +Z směřovala kolmo vzhůru. Osy místního systému jsou znázorněny na obrázku č. 32.



Obr. 32: Místní souřadnicový systém

Až po tento okamžik bylo zpracování naměřených dat společné pro tři diplomové práce.

7. Tvorba 3D modelu

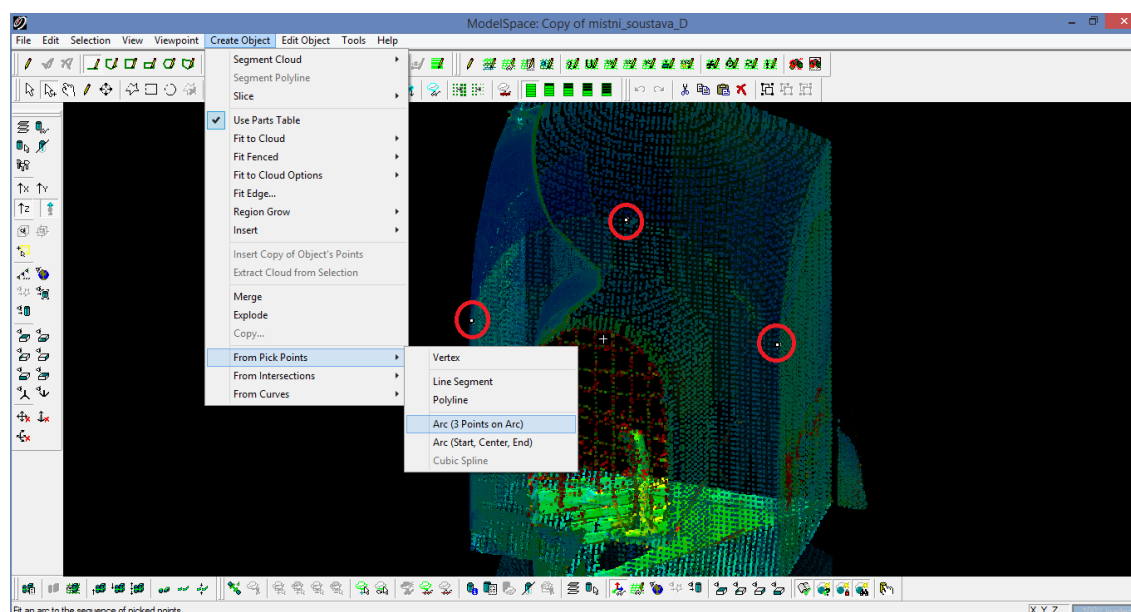
Z mračna bodů interiéru a exteriéru kostela sv. Ducha v Liběchově byl vytvářen prostorový model. Postup tvorby zahrnoval vektorizaci mračna bodů v programu Leica Cyclone a následnou tvorbu ploch v programu Microstation.

Z důvodu přílišné zdobnosti prvků v některých částech objektu byla zvolena míra generalizace přibližně 5 cm. Toto platilo i pro různé výklenky nebo nepravidelnosti na stěnách.

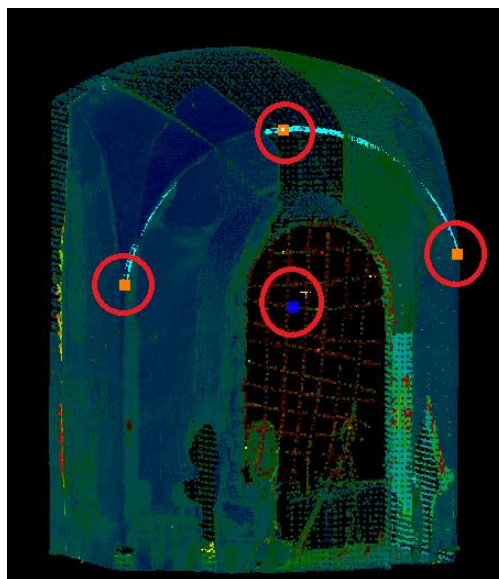
7.1 Tvorba 3D modelu v programu Leica Cyclone

Vektorová kresba byla v programu Cyclone z důvodu přehlednosti tvořena postupně po ucelených částech, jako je například věž, balkon, sloupy, schodiště a další. Vybraná část mračna byla vždy kopírována do vytvořené kopie *ModelSpace* (pomocí funkce *Copy Fenced to New ModelSpace*), kde pak bylo mračno vektorizováno.

Vektorizace bodového mračna byla prováděna dvojím způsobem. První možností bylo modelování linií nebo oblouků z vybraných bodů. K tomuto byla pro výběr potřebných bodů (u linie bod počáteční a koncový, u oblouku bod počáteční, vrcholový a koncový) využita funkce hromadného výběru (*Multi-Pick Mode*). Poté byla zvolena funkce vytvoření objektu z vybraných bodů (*Create Object From Pick Points*) a následně výběr liniového segmentu nebo oblouku – obrázek č. 33. Vymodelovaný útvar bylo pak možné ještě upravit, otočit či posunout pomocí úchytů (*Handles*) – obrázek č. 34.

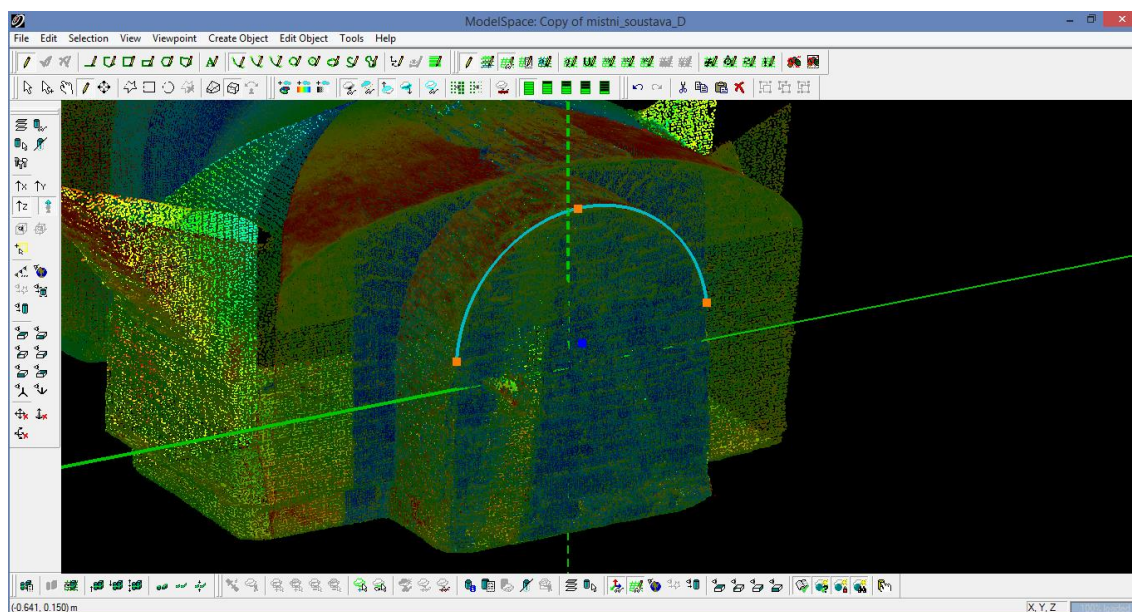


Obr. 33: Vytvoření segmentu z vybraných bodů



Obr. 34: Úchyty (Handles)

Druhou možností provedení vektorizace bylo kreslení do referenční roviny. Referenční rovina byla volena podle potřeby v jedné z rovin X-Y, X-Z, Y-Z. Vzhledem k místnímu souřadnicovému systému, který byl pro bodové mračno zvolen, bylo této možnosti využito především v případě, kdy část objektu (nejčastěji zdi) byla rovnoběžná s jednou z rovin systému. Počátek referenční roviny byl v takovémto případě volen přímo v části vektorizovaného objektu. Pro kresbu pak byla z panelu nástrojů využita funkce kreslení (*Drawing*) a její upřesnění pro kresbu linie, oblouku, kružnice, elipsy atd. Nakreslená linie se pak opět dala upravovat pomocí úchytů. Zobrazení vektorizované části objektu s vloženou referenční rovinou je patrné na obrázku č. 35.

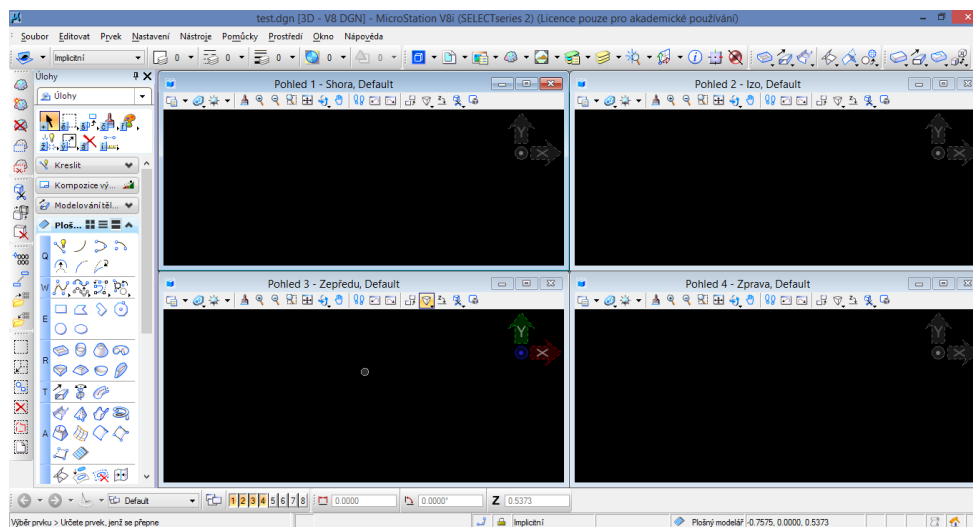


Obr. 35: Kreslení segmentu v referenční rovině

Po dokončení vektorizace vybrané části mračna bodů byla kresba exportována ve formátu .dxf, aby mohla být použita k další části zpracování v programu Microstation. V případě potřeby byla z programu Cyclone exportována i část bodového mračna, a to ve formátu .pts, který lze načíst v programu Microstation.

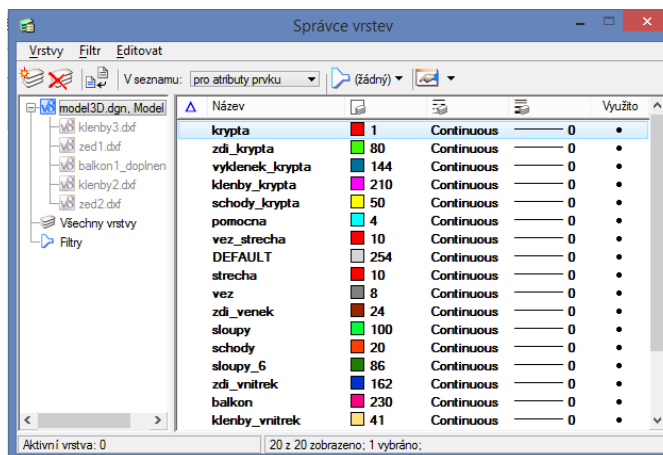
7.2 Tvorba 3D modelu v programu Microstation

Aby mohla být tvořena prostorová kresba, bylo nutné v prostředí programu Microstation zvolit při zakládání výkresu možnost 3D výkres (obrázek č. 36).



Obr. 36: 3D výkres v programu Microstation

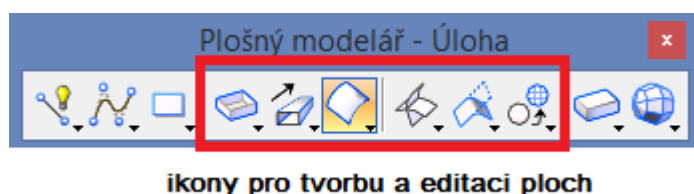
Tvorba 3D modelu probíhala po částech stejně jako vektorizace v Leica Cyclone. Export vektorizované kresby byl v programu Microstation otevřen jako referenční výkres. Na linie referenčního výkresu bylo možné se přichytávat, ale nebylo možné je nijak měnit. Pro přehlednost výkresu byla kresba řazena do barevně odlišených vrstev podle logického členění částí objektu. Počet vrstev nebyl stanoven předem, během tvorby byl postupně navyšován. Přehled vrstev – obrázek č. 37.



Obr. 37: Přehled vrstev v programu Microstation

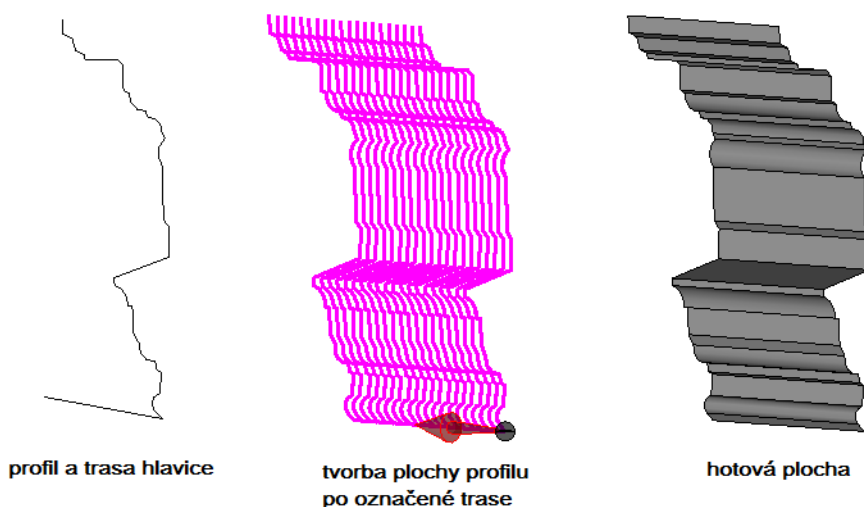
Samotná kresba poté byla tvořena tak, že v podstatě byly obkreslovány linie referenčního výkresu. Tímto byla vždy vytvořena část modelu – kostra, která pak byla doplněna o jednotlivé plochy. Nutno říci, že předloha (referenční výkres) pro tvorbu kostry objektu nebyla vždy úplná. U případů, kdy se prvky opakovaly (například sloupy v hlavní lodi kostela, balkon, hrobky), byl vždy vektorizován jen první z prvků a pro další byla vytvořena kopie. Ta poté byla pomocí zrcadlení, otočení a přesunutí usazena na svém místě.

Pro tvorbu ploch byl využíván plošný modelář, což je paleta funkcí umožňujících tvorbu a editaci ploch různými způsoby (obrázek č. 38).



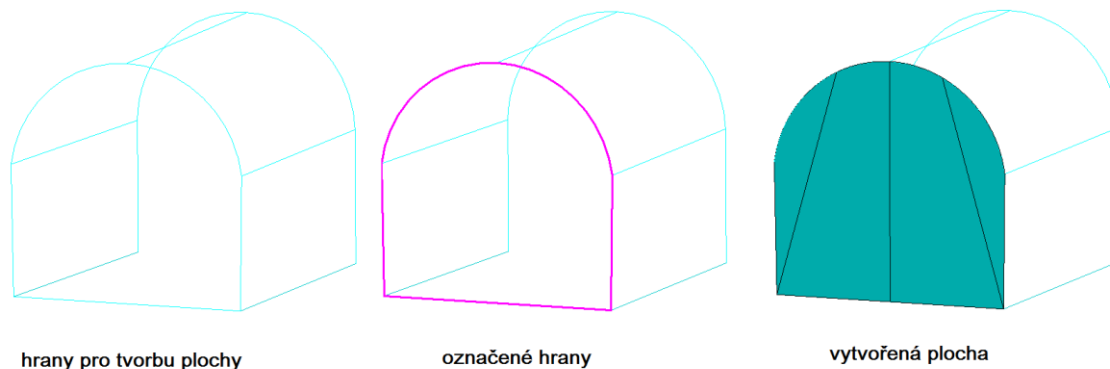
Obr. 38: Plošný modelář

Jmenovitě byly využívány funkce jako *Konstrukce plochy hranami*, *Vytáhnout plochu*, *Vytáhnout plochu po trase*, *Rozvinout plochu podél křivek* a další. Vzhledem k členitosti objektu, nepravidelnosti ploch a architektonické výzdobě, byly plochy děleny na menší a snadněji konstruovatelné útvary. Funkce pro tvorbu ploch byla volena podle toho, pro jaké části objektu byla plocha tvořena, s přihlédnutím k tvaru, průběhu nebo případnému poničení prvku. Například při kresbě hlavice sloupu byl nejprve nakreslen její profil, z kterého poté byla pomocí funkce *Vytáhnout plochu po trase* vytvořena plocha jedné strany hlavice. Postup vytvoření plochy je znázorněn na obrázku č. 39.



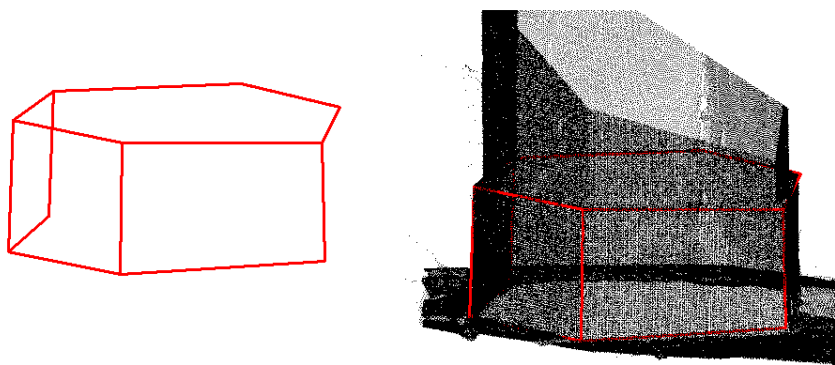
Obr. 39: Tvorba plochy funkcí *Vytáhnout plochu po trase*

Nejčastěji využívanou funkcí byla tvorba ploch hranami. Tato vcelku univerzální funkce byla využívána pro tvorbu ploch prakticky všech tvarů. Nevýhodou byla větší časová náročnost. Pro vytvoření plochy totiž bylo třeba označit každou z hran plochy (obrázek č. 40).



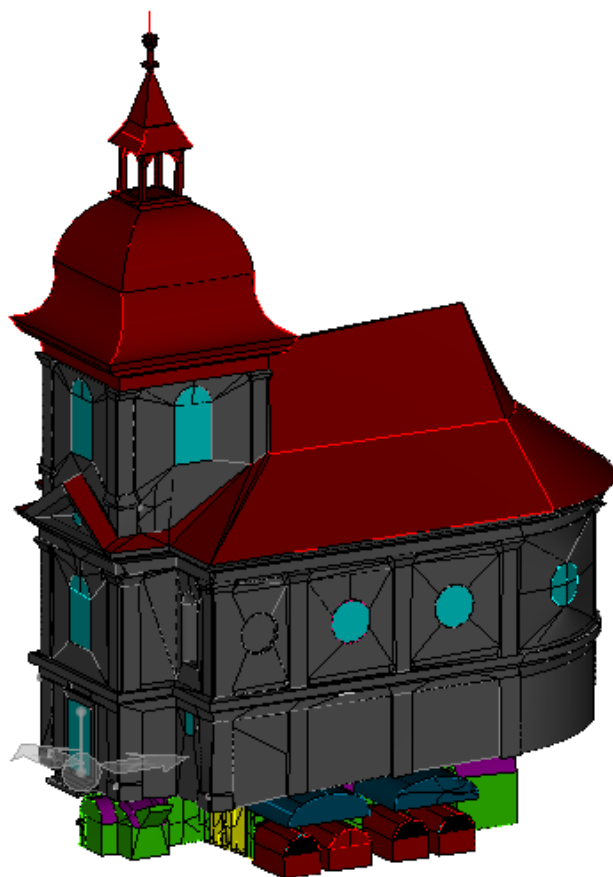
Obr. 40: Tvorba plochy funkcí Konstrukce plochy hranami

V případě, kdy nebylo možné podle referenčního výkresu jednoznačně určit průběh linií útvaru, bylo do programu Microstation nahráno bodové mračno, které usnadnilo orientaci v prostoru. Formát mračna .pts exportovaný z Leica Cyclone byl při importu automaticky převeden na komprimovaný formát .pod. Část vektorové kresby bez mračna bodů a po jeho importu je znázorněna na obrázku č. 41.



Obr. 41: Vektorová kresba bez mračna bodů a po jeho importu

Celý model byl vytvářen v měřítku 1:1 (obrázek č. 42). Výsledný model byl po dokončení v programu Microstation exportován do formátu .skp pro program SketchUp, ve kterém byla vyhotovena vizuální stránka kresby.



Obr. 42: Výsledný model, program Microstation

Prostorový model ve formátu .dgn je jedním z výstupů této práce (příloha č. 10). Výslednému trojrozměrnému modelu byl přizpůsoben i výstup v jiném než CAD programu. Při exportu modelu v programu Microstation byla zvolena možnost 3D tisku ve formátu .pdf. Tento způsob zachovává rozdělení do vrstev, umožňuje jejich zobrazování či skrývání a je možné (oproti klasickému 2D tisku) objekt natáčet a nahlížet na něj z různých pohledů. Přitom je možné model otevřít v jakémkoliv pdf prohlížeči a pro koncového uživatele tak odpadá nutnost manipulace s modelem ve speciálních CAD programech. 3D model ve formátu .pdf je přílohou č. 11.

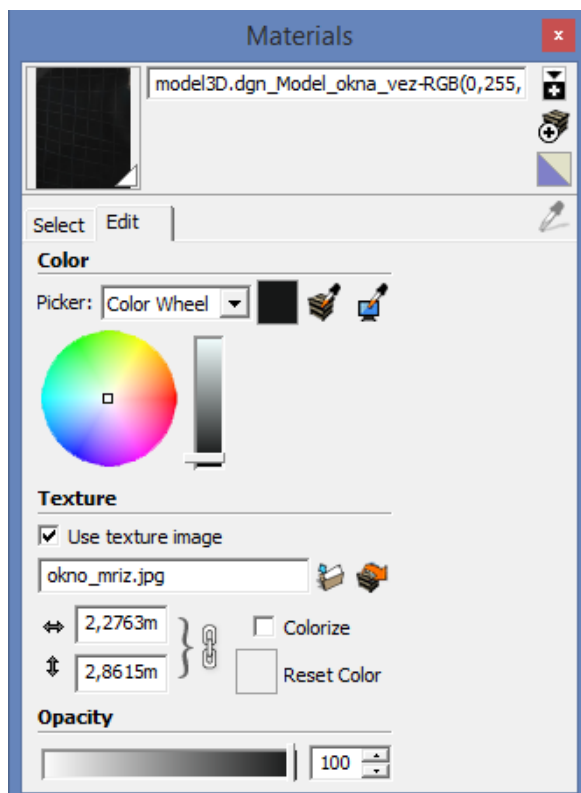
7.3 Zpracování v programu SketchUp

Program SketchUp společnosti Trimble byl využit pro závěrečnou, zejména vizuální, úpravu prostorového modelu.

Tento modelovací program se vyznačuje širokou škálou použití a to nejen v architektuře nebo stavebnictví. Díky jednoduchému ovládání nástrojů lze velmi efektivně vytvářet 3D modely budov nebo jiných objektů. Další výhodou je export modelů do různých grafických formátů nebo tvorba animací modelů.

Export modelu ve formátu .skp zachoval rozdělení do vrstev i jejich barvy. Díky tomuto mohla být stejná textura přiřazena veškerým prvkům jedné vrstvy.

Textury lze přiřadit více způsoby. Jedním z nich je výběr textur již nadefinovaných v programu SketchUp. V tomto případě ale byla využita varianta přiřazení textur z fotografií. Při spuštění nástroje *Materials* byl funkcí *Sample material for painting* vybrán povrch (a s ním další ve stejné vrstvě) určené pro texturování. V dialogu funkce byla vybrána možnost užití textury z obrázku (*Use texture image*), čímž se každý prvek stejné vrstvy „obarvil“ podle požadovaného vzorku. Následně už jen byla upravena velikost vzorku textury tak, aby odpovídala skutečnosti. Obrázky použitých textur byly získány jako výřezy z fotografií kostela sv. Ducha. Dialogové okno pro výběr textur – obrázek č. 43.



Obr. 43: Dialogové okno pro výběr textury

Vzhledem k tvaru potahovaných ploch a vzorku použitých textur, nebyl na hranách ploch vytvořen dojem jednolitého povrchu. Z toho důvodu byla pomocí funkce *Texture Position* nastavena požadovaná pozice textury tak, aby nebyly viditelné ostré přechody mezi hranami. Tato funkce byla využita především u oken objektu, kde byly přechody nejznatelnější. Přechody před a po úpravě jsou viditelné na obrázku č. 44.



Obr. 44: Přechody textur

Dále byl program SketchUp využit pro tvorbu animace 3D modelu. Animace byla vytvořena jako spojení jednotlivých scén, které byly přiřazeny požadovaným částem modelu. Scénám byl nastaven časový údaj, kterým byla udána doba setrvání pohledu na scéně a doba přesunu z jedné scény do druhé. Animace exteriéru byla složena ze 17 scén s dobou přechodu 1,5 sekundy. Pro interiér bylo scén použito 43 s dobou přechodu 2,5 sekundy. Export výsledné animace byl proveden jako video ve formátu .mp4 (exteriér – příloha č. 14, interiér – příloha č. 15). Další možností je export animace jako jednotlivých obrázků.

Model kostela s plochami potaženými texturami je přílohou č. 12. Pro možnost vytvoření texturovaného modelu ve formátu .pdf, byl hotový model exportován z programu SketchUp ve formátu .obj, který byl následně načten v programu Microstation a z něj exportován do 3D pdf – příloha č. 13. Výsledný vzhled 3D modelu po použití textur – obrázek č. 45.



Obr. 45: Model s texturami

V této kapitole bylo čerpáno z [13].

7.4 Komplikace při tvorbě 3D modelu

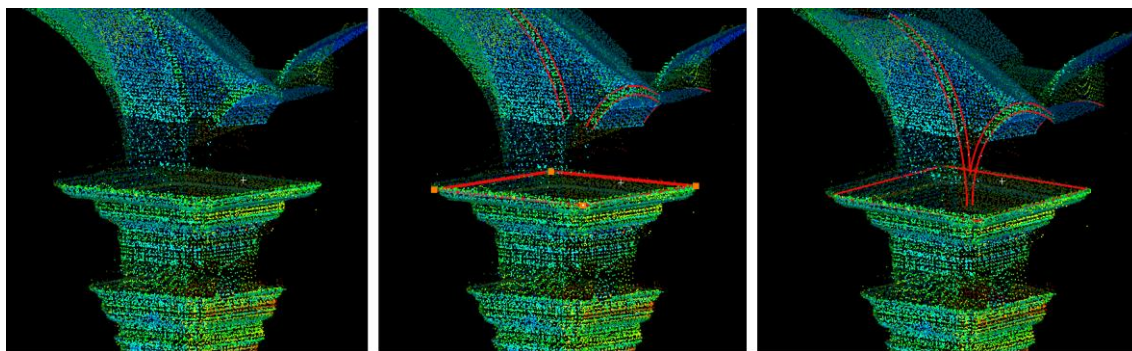
Vzhledem k tomu, že zájmový objekt je historickou budovou a není tvořen jednoduchými konstrukčními prvky, vyskytly se při tvorbě prostorového modelu komplikace. Dalším faktorem pro vznik komplikace byla i značná míra poškození některých částí objektu (zejména fasády) – obrázek č. 46.



Obr. 46: Ukázka poškození objektu

Neúplná fasáda značně ztěžovala orientaci v mračně bodů a znemožňovala tvorbu linií, ty pak často vykazovaly známky nepřesnosti a nenavazovaly na ostatní linie. Tyto problémy byly řešeny v programu Microstation domodelováním linií, jejich protažením, zkrácením nebo úpravou polohy.

Dalším problémem při vektorizaci byla „slepá“ místa. Přes to, že byla stanoviska pro skenování rozvržena s maximální pečlivostí, vznik nenaskenovaných míst byl v určitých částech objektu nevyhnutelný. Těmito prázdnými místy byly například paty kleneb, jejichž naskenování bránily rozšířené hlavice sloupů. Spojení klenby se sloupem bylo proto provedeno jako protažení oblouku klenby až k vrchní části hlavice sloupu (obrázek č. 47). Jako předloha pro domodelování linií sloužily i fotografie pořízené během měření.

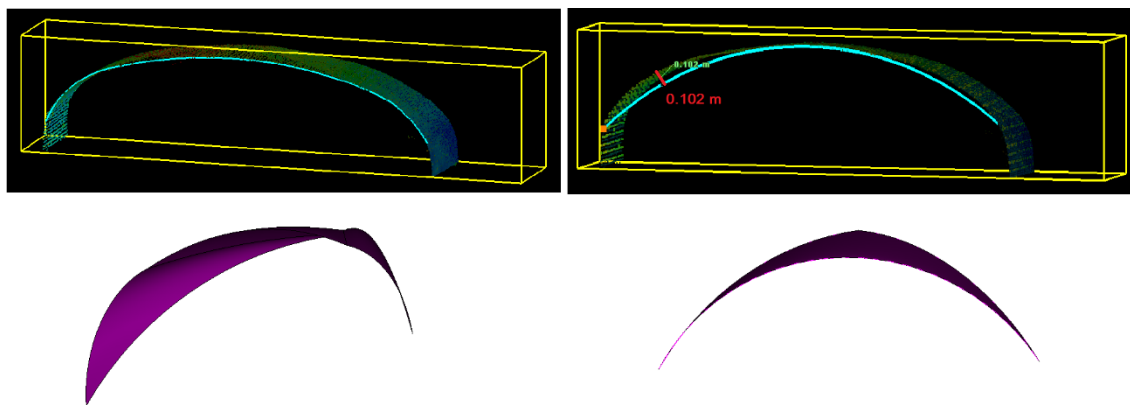


Obr. 47: Slepé místo a protažení paty klenby

Vzniku „slepých“ míst v exteriéru kostela bylo předejito doplněním mračna bodů mračnem získaným z dronu. Nenaskenovaná místa tak byla prakticky výjimkou a pro tvorbu vektorizované kresby nebyla nijak omezující.

Skutečností, která v některých případech zvýšila časovou náročnost tvorby liniové kresby, byla nepravidelnost zdánlivě pravidelných vektorizovaných útvarů. Z toho důvodu bylo nutné vymodelovat linii pro každou hranu útvaru a nebylo možné použít zjednodušený postup kopírováním. Tato situace nastala převážně při tvorbě schodů v interiéru objektu.

Největší překážkou při tvorbě 3D modelu byla vektorizace kleneb. Jejich tvar ve většině případů nešel vystihnout jedním obloukem. Častokrát musela být vektorová kresba klenby složena z několika na sebe navazujících oblouků nebo dokonce částí elips. Toto věrné nahrazení více segmenty se ukázalo jako nevhodné při následné tvorbě ploch. Plochy v takovýchto případech na sebe nenavazovaly hladkým a plynulým přechodem, ale v místě spojů vznikaly vybouleniny. Tento problém byl vyřešen zvolením větší míry generalizace. Oproti dosavadním 5 cm bylo pro klenby zvoleno přibližně 10 cm. Při této úpravě už pak bylo možné tvořit hrany kleneb jediným obloukem. Tím se pak zrychlila tvorba modelu kleneb a současně toto řešení bylo přijatelnější i z estetického hlediska. Rozdíl mezi vektorizací oblouku klenby jedním a více segmenty a následné vytvoření plochy je viditelné na obrázku č. 48.



Obr. 48: Vektorizace a tvorba ploch kleneb

8. Závěr

Cílem této práce bylo zaměření kostela sv. Ducha v Liběchově metodou laserového skenování a následná tvorba prostorového modelu objektu.

Zpracování měřených dat probíhalo v několika programech. Pro prvotní výpočty souřadnic vřícovacích bodů byl využit program Groma.

Následná registrace jednotlivých mračen bodů do jednoho celku byla provedena v programu Leica Cyclone. V tomto programu probíhala i tvorba vektorizace mračna bodů. Ruční vektorizace objektu byla vedena po bodech charakterizujících hrany prvků exteriéru i interiéru kostela.

Drátový model byl poté dotvořen v programu Microstation, kde současně probíhala i tvorba jednotlivých ploch modelu. Zpracování v tomto programu bylo časově nejnáročnější a to z toho důvodu, že drátový model exportovaný z Leica Cyclone obsahoval jen základní kresbu neopakujících se prvků objektu.

Poslední a závěrečné úpravy modelu probíhaly v programu SketchUp. Zde byly plochám přiřazeny textury a pro prezentaci objektu byla vytvořena animace modelu.

Vzhledem k tomu, že byl vytvářen prostorový model památkové budovy, která se vyznačuje jistou zdobností, byla kresba do určité míry generalizována. Ústupky, výklenky a nepravidelnosti, menší než přibližně 5 cm, byly zanedbávány a nahrazovány rovinnými plochami. Taktéž byla při modelování zanedbávána poškozená místa. Například ubourané rohy, nebo opadané části omítky a fasády. Takováto místa byla modelována tak, jak podle předpokladu vypadala před poškozením. Výsledný model tedy není věrnou napodobeninou skutečnosti, ale v jistých ohledech idealizovanou kresbou.

3D model kostela bude sloužit k prezentaci objektu pro veřejnost a bude předán obci Liběchov.

9. Seznam použitých zkratek

GNSS	Globální navigační družicový systém
CZEPOS	Česká síť permanentních stanic
RTK	Real Time Kinematic
3D	Trojrozměrný
2D	Dvojrzměrný
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
CAD	Computer-aided design
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Balt po vyrovnání
FSv	Fakulta stavební ČVUT v Praze
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] Liběchov. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:
<https://en.mapy.cz/zakladni?x=14.4450930&y=50.4273869&z=13&source=muni&id=3881&q=lib%C4%9Bchov>
- [2] *Kostel sv. Ducha* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:
<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [3] *Kostel sv. Ducha* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:
http://kostelicek.eu/?page_id=14
- [4] *Prostorová polární metoda* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:
https://www.google.cz/search?biw=1252&bih=578&tbm=isch&sa=1&ei=aDLoWoGQF4yckgW-3LegCA&q=prostorov%C3%A1+pol%C3%A1rn%C3%AD+metoda&oq=prostorov%C3%A1+pol%C3%A1&gs_l=psy-ab.3.0.0j0i24k1.46630.48002.0.49020.6.3.0.3.3.0.120.306.2j1.3.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.6.328...0i8i30k1.0.IVBThA_qgK4#imgsrc=yw_5-h6ILjQDSM:
- [5] ŠTRONER, Martin, Jiří POSPÍŠIL, Bronislav KOSKA, Tomáš KŘEMEN, Rudolf URBAN, Václav SMÍTKA a Pavel TŘASÁK. *3D skenovací systémy*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [6] VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. Praha, 2014. ISBN 978-80-86516-79-0.
- [7] *Leica TS06* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z:
https://www.google.cz/search?q=leica+TS06&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQ2JjU5c7aAhWRfFAKHfyZBXUQ_AUICigB&biw=1252&bih=578#imgsrc=rzxBymD6uA83AM:
- [8] *Leica TS06. Gefos* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z:
https://www.google.cz/search?q=leica+TS06&source=lnms&tbm=isch&sa=X&vhttp://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/tps/flexline_plus/leica_viva_flexlineplus_2013.pdf
- [9] *Trimble GeoXR* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z:
<https://www.google.cz/search?q=leica+TS06&source=lnms&tbm=isch&sa=X&vhttps://www.google.cz/search?q=trimble+geoXR&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ve>

[d=0ahUKEwiQmOyN6s7aAhWKJSwKHRG1Dz0Q_AUICigB&biw=1252&bih=578#imgsrc=ZXxMJSso8qDx0M:](https://www.google.cz/search?q=faro+focus+3d+x330&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim3K_2_c_aAhVOblAKHUi2BakQ_AUICigB&biw=1252&bih=578#imgsrc=O9pPxdIJBE0jVM)

- [10] *Faro Focus3D X 330* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=faro+focus+3d+x330&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim3K_2_c_aAhVOblAKHUi2BakQ_AUICigB&biw=1252&bih=578#imgsrc=O9pPxdIJBE0jVM:
- [11] Geodetické údaje. ČÚZK [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://dataz.cuzk.cz/gu.php?1=14&2=16&3=029&4=a&stamp=52u4UhFhBPiBH3KG5ZFXw1skInxuCW06>
- [12] Leica Cyclone. *GEFOS* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/84/cyclone>
- [13] *SketchUp* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.techsoft.sk/cz/cad/sketchup>

11. Seznam obrázků

Obr. 1: Poloha kostela sv. Ducha, [1], [2]	9
Obr. 2: Kostel sv. Ducha.....	10
Obr. 3: Kostel sv. Ducha.....	10
Obr. 4: Kostel sv. Ducha.....	11
Obr. 5: Kaplička z křížové cesty.....	11
Obr. 6: Část křížové cesty.....	11
Obr. 7: Prostorová polární metoda, [4]	12
Obr. 8: Totální stanice Leica TS06, [7]	17
Obr. 9: GNSS přijímač Trimble GeoXR, [9].....	18
Obr. 10: GNSS přijímač Trimble GeoXR	18
Obr. 11: Laserový skener Faro Focus 3D X 330, [10]	18
Obr. 12: Kulový terč	19
Obr. 13: Schéma polygonového pořadu	20
Obr. 14: Schéma polygonového pořadu s body určenými rajónem.....	20
Obr. 15: Schéma rozmístění vlíčovacích bodů	21
Obr. 16: Výpočet měřítkového koeficientu	23
Obr. 17: Výpočet polygonového pořadu.....	23
Obr. 18: Schéma stanovisek skenování v kryptě, tvorba Bc. P. Klimánková	25
Obr. 19: Schéma stanovisek skenování v prvním nadzemním podlaží, tvorba Bc. K. Dvořáková	25
Obr. 20: Schéma stanovisek skenování v druhém nadzemním podlaží, tvorba Bc. K. Dvořáková	26
Obr. 21: Schéma stanovisek skenování v exteriéru kostela, tvorba Bc. K. Dvořáková ..	26
Obr. 22: Šablona pro import dat	28
Obr. 23: Naskenovaný kulový terč	29
Obr. 24: Funkce Region Grow.....	29
Obr. 25: Vymodelovaný kulový terč	29
Obr. 26: Constraint List	30
Obr. 27: Část protokolu z registrace	31
Obr. 28: Parametry modelovaného kulového terče	31
Obr. 29: Vizuální kontrola registrace	32
Obr. 30: Mračno bodů exteriéru před a po očištění	32

Obr. 31: Mračno bodů z pozemního laserového skenování, z dronu a po spojení	33
Obr. 32: Místní souřadnicový systém	33
Obr. 33: Vytvoření segmentu z vybraných bodů	34
Obr. 34: Úchyty (Handles).....	35
Obr. 35: Kreslení segmentu v referenční rovině	35
Obr. 36: 3D výkres v programu Microstation.....	36
Obr. 37: Přehled vrstev v programu Microstation	36
Obr. 38: Plošný modelář	37
Obr. 39: Tvorba plochy funkcí Vytáhnout plochu po trase	37
Obr. 40: Tvorba plochy funkcí Konstrukce plochy hranami	38
Obr. 41: Vektorová kresba bez mračna bodů a po jeho importu	38
Obr. 42: Výsledný model, program Microstation.....	39
Obr. 43: Dialogové okno pro výběr textury.....	40
Obr. 44: Přechody textur.....	41
Obr. 45: Model s texturami.....	41
Obr. 46: Ukázka poškození objektu.....	42
Obr. 47: Slepé místo a protažení paty klenby	42
Obr. 48: Vektorizace a tvorba ploch klenby	43

12. Seznam tabulek

Tab. 1: Techn. parametry totální stanice Leica TS06, [8]	17
Tab. 2: Techn. parametry GNSS přijímače Trimble GeoXR, [10].....	18
Tab. 3: Techn. parametry skeneru Faro Focus 3D X 330, [12]	19
Tab. 4: Souřadnice bodů polygonového pořadu	23
Tab. 5: Parametry skenování	24

13. Seznam příloh

Příloha č. 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu č. 29

Příloha č. 2: Zápisník měření

Příloha č. 3: Protokol o výpočtu polygonového pořadu

Příloha č. 4: Protokol o výpočtu polární metody dávkou

Příloha č. 5: Protokol porovnání souřadnic GNSS měření

Příloha č. 6: Protokol registrace točitého schodiště

Příloha č. 7: Protokol registrace druhého nadzemního podlaží

Příloha č. 8: Protokol registrace interiéru

Příloha č. 9: Protokol registrace exteriéru

Příloha č. 10: Prostorový model ve formátu .dgn

Příloha č. 11: Prostorový model ve formátu .pdf

Příloha č. 12: Prostorový model – textury ve formátu .skp

Příloha č. 13: Prostorový model – textury ve formátu .pdf

Příloha č. 14: Animace exteriéru ve formátu .mp4

Příloha č. 15: Animace interiéru ve formátu .mp4

Příloha č. 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu č. 29

GEODETICKÉ ÚDAJE trigonometrického bodu

Kraj: Středočeský kraj

Okres: Mělník

Obec: Liběchov

List č.: 1/1

Stav k: 1986

Vytvořeno pro web 28.03.2018

TL	1416
ZM-50	02-44
SMO-5	040744

Číslo a název bodu		29		Liběchov, kaple		29		
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška				
				Bpv	vztahuje se na			
29	TB	736027.92	1008168.41	240.50	střed makovice			
29.1	ZB1	735995.61	1008207.97	213.15	hranol			
29.2	ZB2	736008.20	1008160.49	212.79	hranol			
29.3	SV1	736015.44	1008179.40	214.34	svorník			
Orientace na body (ve stupních)								
Číslo		Jižník	Délka strany	Číslo		Jižník	Délka strany	
29.1		320 45 39.0	51.078					
29.2		248 07 36.0	21.250					
	29.1-29.2		49.123					
Místopisný popis: Bodem je střed makovice věže kaple v Liběchově.								
Bod	29		29.1		29.2		29.3	
Stab. údaje	0,00	střed mak. věže kaple	0,00	žula 20.20.84	0,00	žula 16.16.90	0,00	čep. zn., typ VI, 1.17 nad zemí
			.88	žula 40.40.12	1.04	žula 30.30.13		
			1.09	sklo 16.16.03	1.24	sklo 16.16.03		
Označ. povrch. značky na boku:			Δ j.		Δ s. TP j.			
Ochranný znak: (druh, rok)								
Kot. území: Parc.čís. Druh poz.:	Liběchov		Liběchov 1186/12		Liběchov 146/3		Liběchov	
<div> <div> Druh a výška signal. stavby nebo nárys trvalého cíle: Signalizace z roku: </div> <div> </div> <div> Poznámky: </div> </div>								

Zeměměřický úřad 2000